ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1901 г. ТОМЪ 2 No. 6

Очерки по спектральному анализу

В. А. Михельсона [1].

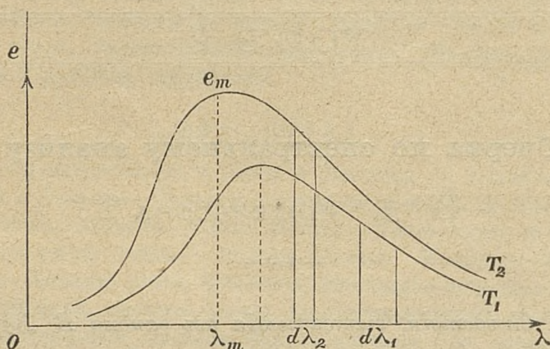
10. *Слѣдствія, вытекающія изъ закона В. Вина.*

Во всякомъ случаѣ, разъ *допустивъ* вмѣстѣ съ В. Виномъ, что въ состояніи устойчиваго равновѣсія каждая монохроматическая радіація, входящая въ составъ полной нестройной радіаціи, сохраняетъ свою индивидуально ей присущую энергію, вполнѣ естественно будетъ также представлять себѣ, что и при варіированіи состоянія равновѣсія, т. е. при измѣненіи температуры или объема, каждая изъ этихъ монохроматическихъ радіацій сохраняетъ свое индивидуальное существованіе. „Законъ смѣщеній" В. Вина опредѣляетъ, какъ при этомъ долженъ измѣняться цвѣтъ каждой радіаціи.

Для того, чтобы съ другой стороны опредѣлить, какъ при этомъ измѣняется интенсивность каждой монохроматической радіаціи, характеризуемой опредѣленнымъ значеніемъ произведенія λT, мы—вмѣстѣ съ В. Виномъ—*допустимъ*, что законъ Стефана-Больцмана (ур. 17) примѣнимъ и къ каждой изъ этихъ радіацій въ отдѣльности. Положимъ, что для нѣкоторыхъ двухъ температуръ T_1 и T_2 распредѣленіе энергіи въ нормальномъ спектрѣ идеально-чернаго тѣла изображено на діаграммѣ двумя кривыми линіями (фиг. 9); на абсциссахъ отложены длины волнъ, на ординатахъ—соотвѣтственныя значенія энергіи, т. е. функціи Кирхгоффа e_λ. Такъ, если мы длину волнъ выразимъ въ единицахъ Ангстрёма (въ 10-милліонныхъ доляхъ миллиметра), то подъ e_λ будемъ разумѣть энергію всѣхъ тѣхъ колебаній, длины волнъ

[1]) Окончаніе; см. стр. 231.

которыхъ заключаются между предѣлами λ и $\lambda+1$, выраженными въ единицахъ Ангстрёма. Энергія, заключенная при температурѣ T_1 между длинами волнъ λ_1 и $\lambda_1+d\lambda$, будетъ $=e_{\lambda_1}d\lambda_1$; послѣ повышенія температуры (лучеиспускающаго тѣла) до T_2 та



фиг. 9.

же самая лучистая энергія будетъ — по Вину — заключаться между двумя другими длинами волнъ — именно λ_2 и $\lambda_2+d\lambda_2$; при чемъ на основаніи закона смѣщеній можемъ написать два ур-ія:

$$\lambda_1 T_1 = \lambda_2 T_2,\ (\lambda_1+d\lambda_1)T_1 = (\lambda_2+d\lambda_2)T_2;$$

откуда

$$\frac{d\lambda_1}{d\lambda_2} = \frac{T_2}{T_1}, \tag{30}$$

т. е. основанія элементарныхъ прямоугольниковъ, площади которыхъ изображаютъ энергію разсматриваемой нами приблизительно-монохроматической радіаціи (какъ и самыя длины волнъ), измѣняются обратно-пропорціонально абсолютнымъ температурамъ. По мѣрѣ повышенія температуры ординаты кривой энергіи не только всѣ передвигаются къ началу координатъ, но и сближаются между собою. Поэтому, если бы энергія каждой радіаціи при повышеніи температуры оставалась постоянною, то ординаты, изображающія e_λ слѣдовало бы увеличивать во столько разъ, во сколько уменьшаются основанія прямоугольниковъ, т. е. прямо-пропорціонально абсолютной температурѣ. Въ этомъ предположеніи новая ордината e'_{λ_2} опредѣлилась бы изъ пропорціи

$$\frac{e'_{\lambda_2}}{e_{\lambda_1}} = \frac{T_2}{T_1}. \tag{31}$$

Но, такъ какъ на самомъ дѣлѣ энергія каждой монохраматической радіаціи не остается постоянною, а—по допущенію В. Вина—измѣняется — согласно закону Стефана — прямо-пропорціонально четвертой степени температуры, то

$$\frac{e_{\lambda_2}}{e'_{\lambda_2}} = \frac{T_2^4}{T_1^4}. \tag{32}$$

Перемноживъ пропорціи (31) и (32), находимъ

$$\frac{e_{\lambda_1}}{T_1^5} = \frac{e_{\lambda_2}}{T_2^5} = \text{const}. \tag{33}$$

Это соотношеніе показываетъ, что ординаты кривой энергіи для „соотвѣтственныхъ" длинъ волнъ измѣняются прямо-пропорціонально *пятой* степени абсолютной температуры. Если будетъ извѣстна форма спектральной кривой для какой-либо *одной* температуры, то при помощи двухъ соотношеній (29) и (33), найденныхъ В. Виномъ, можно построить кривыя распредѣленія энергіи для всѣхъ остальныхъ температуръ.

Отношеніе e_λ / T^5, будучи постояннымъ, можетъ быть лишь нѣкоторою функціею произведенія λT, которое также остается постояннымъ при переходѣ отъ одной температуры къ другой:

$$e_\lambda = T^5 f(\lambda T). \tag{34}$$ [1]

Такимъ образомъ, благодаря допущеніямъ В. Вина и примѣненію чисто термодинамическихъ методовъ, опредѣленіе вида функціи Кирхгоффа сводится къ изысканію нѣкоторой функціи одного лишь перемѣннаго—произведенія λT.

Но прежде, чѣмъ перейти къ разсмотрѣнію нѣкоторыхъ предложенныхъ для этой функціи формъ, мы укажемъ на важныя и провѣренныя опытомъ слѣдствія приведенныхъ уравненій.

Уже опыты Лэнглея (фиг. 7) показали, что e_λ для каждой температуры имѣетъ только одинъ максимумъ. Обозначимъ чрезъ λ_m длину волны, соотвѣтствующую этому максимуму. Такъ какъ по уравненію (33) всѣ ординаты измѣняются въ одномъ и томъ же отношеніи (пропорціонально T^5), то при различныхъ температурахъ максимальная ордината будетъ всегда соотвѣтствовать

---

[1]) Въ этой формѣ законъ В. Вина былъ впервые представленъ М. Тизеномъ.

одной и той же элементарной радіаціи, измѣняющей свой цвѣтъ по закону Вина и всегда имѣющей бóльшую энергію, чѣмъ всѣ остальныя. Слѣдовательно

(35) $$\lambda_m T = C_1.$$

Длина волны максимальной энергіи въ спектрѣ идеально-чернаго тѣла обратно-пропорціональна абсолютной температурѣ. Это важное соотношеніе было впервые высказано (безъ доказательства) Веберомъ [1]), но обосновано лишь В. Виномъ въ 1893 году. Значеніе постоянной въ уравненіи (35) извѣстно довольно точно изъ опытовъ Пашена, Луммера, Прингсгейма и др. Если выразить длину волны λ_m въ микронахъ [2]), температуру въ градусахъ Цельзія, то по новѣйшимъ изслѣдованіямъ Пашена

$$\lambda_m T = 2920.$$

Обозначая наибольшее значеніе лучистой энергіи e_λ для каждой температуры чрезъ e_m, изъ уравненій (33) и (34) получимъ

(36) $$\frac{e_m}{T^5} = C_2 = f(\lambda_m T) = f(2920).$$

Ордината максимальной энергіи въ спектрѣ чернаго тѣла возрастаетъ прямо-пропорціонально *пятой* степени абсолютной температуры, т. е. быстрѣе, чѣмъ полная энергія радіаціи. Это соотношеніе открыто В. Виномъ въ 1893 году.

Наконецъ, перемножая уравненіе (35) и (36) и принимая во вниманіе законъ Стéфана (ур. 18′), найдемъ:

(37) $$\lambda_m e_m = C_1 C_2 T^4 = KE;$$

полная энергія спектра измѣняется прямо-пропорціонально площади прямоугольника, построеннаго на максимальной ординатѣ и соотвѣтствующей ей длинѣ волны. Это соотношеніе найдено мною (другимъ путемъ) въ 1887 году.

11. *Окончательное опредѣленіе вида функціи Кирхгоффа.*

Съ точки зрѣнія, принятой В. Виномъ, всѣ вышеприведенныя соотношенія являются необходимыми слѣдствіями примѣненія законовъ термодинамики къ теоріи лучистой энергіи и не зависятъ отъ болѣе детальнаго опредѣленія вида функціи Кирх-

---

[1]) H. F. Weber. [2]) Микронъ = 0·001 миллиметра.

гоффа. Чтобы окончательно выяснить форму этой функціи В. Винъ, слѣдуя моему примѣру, пользуется закономъ Максвелля, опредѣляющимъ наивѣроятнѣйшее распредѣленіе скоростей между молекулами газа. При своемъ выводѣ В. Винъ дѣлаетъ нѣсколько допущеній, которыя вызвали съ разныхъ сторонъ цѣлый рядъ возраженій. Поэтому мы не будемъ останавливаться на томъ, какимъ образомъ В. Винъ дошелъ до своей формулы, а приведемъ только его результатъ. Онъ находитъ, что функція Кирхгоффа:

$$e_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-c_2/\lambda T}. \tag{38}$$

Въ этомъ уравненіи c_1 и c_2 суть двѣ физическія постоянныя, не зависящія отъ свойства какого-либо опредѣленнаго тѣла, e — есть основаніе неперовыхъ логариѳмовъ. Изъ сравненія уравненій (34) и (38) видно, что В. Винъ полагаетъ функцію Тизена $f(\lambda T)$ равною

$$\frac{e_\lambda}{T^5} = f(\lambda T) = \frac{c_1}{(\lambda T)^5} e^{-c_2/\lambda T}. \tag{39}$$

Если при переходѣ отъ одной температуры къ другой условимся считать произведеніе λT постояннымъ, то изъ разсмотрѣнія (39) совмѣстно съ (31) можно непосредственно убѣдиться въ томъ, что уравненіе В. Вина удовлетворяетъ закону Стéфана-Больцмана. Впрочемъ и прямымъ интегрированіемъ (по частямъ) получаемъ

$$E = \int_0^\infty e_\lambda\, d\lambda = c_1 \int_0^\infty \lambda^{-5} e^{-c_2/\lambda T} d\lambda = 6 \frac{c_1}{c_2^4} T^4. \tag{40}$$

Сравнивая это уравненіе съ уравненіемъ (18), находимъ связь между постоянными c_1 и c_2 В. Вина и постоянною C въ законѣ Стéфана.

Для провѣрки закона В. Вина было произведено нѣсколько весьма тщательныхъ опытныхъ изслѣдованій. Въ качествѣ „идеально-чернаго" источника радіаціи всегда брали небольшую щель въ стѣнкѣ металлической (или фарфоровой) полости, со всѣхъ сторонъ замкнутой и по возможности равномѣрно нагрѣваемой; внутренняя поверхность полости была вычернена. Какъ было объяснено въ началѣ настоящаго очерка, такая щель тѣмъ ближе подходитъ къ идеально-черному тѣлу, чѣмъ меньше ея площадь въ сравненіи со всею внутреннею поверхностью полости. Лишь ни-

чтожная часть вполнѣ-нестройной радіаціи, господствующей внутри полости и постоянно тамъ возстановляющейся, выпускается чрезъ щель наружу и подвергается нашему изслѣдованію. Такой пучекъ идеально-черныхъ лучей направляютъ въ спектроболометръ съ зеркалами (вмѣсто линзъ) и съ призмою изъ каменной соли. Энергія каждаго мѣста въ спектрѣ измѣряется отклоненіемъ гальванометра. Для сравненія опыта съ теоріею нужно затѣмъ еще „перевести" призматическій спектръ въ нормальный, что теперь сдѣлать не трудно, такъ какъ, благодаря опубликованнымъ въ 1894 году изслѣдованіямъ Пашена и Рубенса, законъ дисперсіи каменной соли для инфракрасныхъ лучей намъ извѣстенъ съ достаточною точностью [1]).

Оказывается, что формула (38) В. Вина съ очень большимъ приближеніемъ изображаетъ результаты цѣлой серіи опытовъ Пашена, Ваннера, Луммера и Прингсгейма. Это тѣмъ болѣе замѣчательно, что формула (38) при своей относительной простотѣ обнимаетъ очень большое разнообразіе фактовъ и явленій. Въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ формула В. Вина считалась почти общепризнаннымъ и безспорнымъ выраженіемъ функціи Кирхгоффа.

Но въ самое послѣднее время Луммеръ и Прингсгеймъ, а затѣмъ Рубенсъ, Курльбаумъ и др. обнаружили, что если измѣрять энергію самыхъ длинныхъ инфракрасныхъ волнъ, получаемыхъ при высокихъ температурахъ, то появляются систематическія уклоненія отъ закона В. Вина, которыя становятся тѣмъ больше, чѣмъ большее значеніе получаетъ произведеніе λT. При большихъ значеніяхъ этого произведенія наблюденія даютъ бóльшія значенія для e_λ, чѣмъ какія получаются вычисленіемъ по формулѣ В. Вина. Вслѣдствіе этого Планкъ нѣсколько усложнилъ формулу В. Вина, присоединивъ къ ней множитель

$$\frac{1}{1 - e^{-c_2/\lambda T}} \tag{41}$$

и получивъ такимъ образомъ вмѣсто ур. (38) слѣдующее:

$$e_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-c_2/\lambda T} \frac{1}{1 - e^{-c_2/\lambda T}} = c_1 \lambda^{-5} \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \tag{42}$$

---

[1]) Въ 1887 году законъ этотъ еще не былъ извѣстенъ и опыты Пашена и Рубенса еще даже не начаты, что, повидимому, забываетъ г. Луммеръ при критикѣ моей работы, опубликованной въ упомянутомъ году.

Такъ какъ коэффиціентъ c_2 имѣетъ довольно большое числовое значеніе [1]), то при всѣхъ малыхъ и среднихъ значеніяхъ произведенія λT величина $e^{-c_2/\lambda T}$ будетъ очень малою правильною дробью и множитель (41), введенный Планкомъ, будетъ лишь мало отличаться отъ единицы. Поэтому при небольшихъ значеніяхъ λT формулы В. Вина и Планка даютъ почти одинаковыя кривыя для e_λ; но, по мѣрѣ увеличенія λT, значенія обѣихъ формулъ все болѣе и болѣе расходятся; для $T=\infty$ формула Планка даетъ и безконечно-большія значенія энергіи для волнъ всякой длины, между тѣмъ какъ по формулѣ В. Вина энергія каждой отдѣльной монохроматической радіаціи (при постоянномъ λ) стремится къ конечному предѣлу по мѣрѣ возрастанія T до безконечности.

Пашенъ, прежде особенно энергично защищавшій формулу В. Вина, теперь послѣ ряда новыхъ измѣреній также признаетъ, что формула Планка изображаетъ всю совокупность наблюденій значительно лучше, чѣмъ уравненіе В. Вина.

Слѣдуетъ замѣтить, что Планкъ не ограничился предложеніемъ своей формулы, какъ эмпирической, но связалъ ее съ электромагнитною теоріею свѣта при помощи принциповъ термодинамики и тѣхъ общихъ теоремъ теоріи вѣроятностей, которыя были впервые введены въ физику Больцманомъ еще въ 1877 году. По этимъ общимъ теоремамъ выраженіе „мѣры перемѣстимости" (Permutabilitätsmaass) является мѣрою вѣроятности различныхъ состояній термической системы и приводитъ съ одной стороны, какъ показалъ Больцманъ, ко второму закону термодинамики и въ частности—къ закону Максвелля, съ другой, какъ показалъ Планкъ, — къ вышеприведенному закону распредѣленія энергіи въ спектрѣ идеально-чернаго тѣла.

Этотъ теоретическій выводъ, повидимому, пока является главною опорою формулы Планка, такъ какъ произведенныя и опубликованныя до сихъ поръ опытныя изслѣдованія, какъ мнѣ кажется, еще не достаточно убѣдительны, чтобы заставить насъ сдѣлать окончательный выборъ между формулами В. Вина и М. Планка, какъ выраженіями функціи Кирхгоффа. Дѣло въ томъ, что функція Кирхгоффа e_λ должна изображать лучеиспу-

---

[1]) Въ уравненіи Вина $c_2 = 5\,\lambda_m T = 14600$, въ уравненіи же Планка (по Пашену) $c_2 = 4.9651 \lambda_m T = 14498$ μ. град. Ц.

сканіе идеально-чернаго тѣла въ *пустотѣ*, т. е. въ чистомъ эѳирѣ. Между тѣмъ всѣ упомянутыя выше опытныя изслѣдованія были произведены съ радіаторами, находящимися *въ воздухѣ*, и давали лучеиспусканіе полостей, наполненныхъ воздухомъ. Вліяніе этого воздуха должно отражаться на результатахъ измѣреній въ двухъ направленіяхъ: во-первыхъ примѣшанныя къ воздуху водяныя пары и углекислота имѣютъ въ тепловомъ спектрѣ рѣзкія и широкія полосы поглощенія; эти полосы, открытыя К. Ангстрёмомъ, конечно приняты во вниманіе Пашеномъ и Рубенсомъ, поскольку онѣ „вырѣзываютъ" нѣкоторое количество энергіи изъ спектральной кривой. Но принято-ли въ достаточной мѣрѣ во вниманіе то обстоятельство, что присутствіе этихъ полосъ поглощенія можетъ способствовать явленію „деградаціи" лучистой энергіи, что радіаціи, поглощенныя водою и углекислотою, могутъ быть вновь испускаемы и притомъ съ бóльшими длинами волнъ? Такое преобразованіе лучистой энергіи не соотвѣтствовало бы закону Кирхгоффа и было бы аналогично флуоресценціи. Тѣмъ не менѣе нельзя абсолютно отрицать его возможности, въ особенности, если въ воздухѣ взвѣшено значительное количество пыли. Если же такая деградація лучистой энергіи въ опытахъ Пашена, Рубенса и Курльбаума, Луммера и Бекмана имѣла мѣсто, то она измѣняла радіацію идеально-чернаго тѣла именно въ томъ направленіи, въ какомъ названные экспериментаторы нашли уклоненіе отъ формулы В. Вина.

Впрочемъ, независимо отъ избирательнаго поглощенія, самое присутствіе воздуха, какъ теплопрозрачнаго тѣла съ показателемъ преломленія, нѣсколько отличающимся отъ единицы, должно—согласно такъ называемому закону Клаузіуса—оказывать нѣкоторое вліяніе не только на полную интенсивность радіаціи, но и на распредѣленіе энергіи между различными волнами. Намъ остается теперь разсмотрѣть именно этотъ законъ.

12. Законъ Кирхгоффа-Клаузіуса.

Законъ о зависимости лучеиспусканія чернаго тѣла отъ показателя преломленія той среды, въ которую происходитъ лучеиспусканіе, обыкновенно приписывается Клаузіусу. Между тѣмъ онъ уже гораздо раньше формулированъ и строго доказанъ Кирхгоффомъ въ его классическомъ мемуарѣ объ отношеніи между лучеиспускательной и лучепоглощательной способностями [1]).

---

[1]) G. Kirchhoff. Ges. Abh. p. 592—594.

Но мы не будемъ здѣсь приводить оригинальнаго доказательства Кирхгоффа, вслѣдствіе его сравнительной сложности, а постараемся при помощи всѣхъ имѣющихся въ нашемъ распоряженіи источниковъ сдѣлать выводъ возможно простымъ и нагляднымъ.

Вообразимъ себѣ двѣ неограниченныя параллельныя черныя плоскости P и P_1 (фиг. 10), поддерживаемыя при одинаковыхъ температурахъ. По второму закону термодинамики равновѣсіе температуры не можетъ быть нарушено процессомъ обмѣна лучистой энергіи между этими плоскостями, какія бы прозрачныя или полупрозрачныя тѣла ни наполняли промежуточное пространство. Положимъ, что плоскость P граничитъ съ чистымъ эѳиромъ, плоскость же P_1 прилегаетъ къ вполнѣ теплопрозрачному слою, имѣющему показатель преломленія n (для волнъ длины $= \lambda$) и ограниченному плоскостью Q, параллельною первымъ двумъ плоскостямъ P и P_1. По предыдущему сквозь плоскость Q должны одновременно проходить одинаковыя количества лучистой энергіи въ ту и другую сторону. Обозначимъ чрезъ e и e_1 лучеиспускательныя способности черныхъ плоскостей P и P_1; далѣе—чрезъ ε и ψ интенсивность и плотность лучистой энергіи между плоскостями P и Q; наконецъ чрезъ ε_1 и ψ_1—тѣ же величины для среды между плоскостями Q и P_1. Въ такомъ случаѣ можемъ написать [1])

фиг. 10.

$$\psi = \frac{4e}{v} = \frac{4\pi\varepsilon}{v}; \quad \psi_1 = \frac{4e_1}{v_1} = \frac{4\pi\varepsilon_1}{v_1}, \qquad (43)$$

гдѣ чрезъ v и v_1 обозначены соотвѣтственныя скорости свѣта.

Количество лучистой энергіи, испускаемой плоскостью P подъ углами между φ и $\varphi + d\varphi$, есть

$$i = 2\pi\varepsilon \sin\varphi \cos\varphi \, d\varphi$$

---

[1]) См. выше § 5 стр. 183.

Эта энергія падаетъ подъ тѣмъ же угломъ на плоскость Q; часть ея, ir_φ, отражается, остальная же часть, $i(1-r_\varphi)$, преломляется подъ углами между φ_1 и $\varphi_1+d\varphi_1$; причемъ углы φ и φ_1 связаны закономъ преломленія:

$$\frac{\sin\varphi}{\sin\varphi_1}=n=\frac{v}{v_1}. \tag{44}$$

Въ прямо противоположномъ направленіи подъ углами между φ_1 и $\varphi_1+d\varphi_1$ плоскость P_1 испускаетъ количество энергіи

$$i_1=2\pi\varepsilon_1\sin\varphi_1\cos\varphi_1 d\varphi_1.$$

Изъ этой энергіи часть $i_1 r'_{\varphi_1}$ отражается отъ плоскости Q обратно къ P_1, остальная же часть $i_1(1-r'_{\varphi_1})$ проходитъ [1]) сквозь плоскость Q и достигаетъ P. По условію равновѣсія температуръ мы должны имѣть

$$i(1-r_\varphi)=i_1(1-r'_{\varphi_1}). \tag{45}$$

Но въ оптикѣ доказывается, что, если углы φ и φ_1 удовлетворяютъ ур-ію (44), то коэффиціенты отраженія для одинакихъ періодовъ и одинакихъ азимутовъ поляризаціи въ обѣихъ средахъ одинаковы [2]). Такъ какъ въ нестройной радіаціи всѣ азимуты поляризаціи встрѣчаются одинаково часто, то мы можемъ положить для каждаго періода

$$r_\varphi=r'_{\varphi_1}. \tag{46}$$

Но въ такомъ случаѣ по ур. (45) непосредственно имѣемъ $i=i_1$ или

$$2\pi\varepsilon\sin\varphi\cos\varphi d\varphi=2\pi\varepsilon_1\sin\varphi_1\cos\varphi_1 d\varphi_1 \tag{47}$$

Это уравненіе имѣетъ тотъ физическій смыслъ, что при разсмотрѣніи условій термическаго равновѣсія мы имѣемъ право совершенно отвлечься отъ обыкновеннаго отраженія на плоскости Q и можемъ представлять себѣ, будто всякій лучъ, падающій на Q со стороны P, *цѣликомъ* преломляется въ болѣе плотную среду и достигаетъ P_1 и обратно, всякій лучъ, падающій на Q со стороны P_1 подъ угломъ *меньшимъ предѣльнаго, цѣликомъ* проходитъ сквозь Q и достигаетъ плоскости P. Энергія,

---

[1]) Такъ какъ уголъ φ_1, удовлетворяющій ур. (44), меньше предѣльнаго угла полнаго отраженія.

[2]) Это непосредственно вытекаетъ изъ френелевыхъ формулъ отраженія.

падающая на Q подъ угломъ бо́льшимъ предѣльнаго, вовсе не выходитъ изъ болѣе плотной среды и послѣ полнаго внутренняго отраженія вновь поглощается плоскостью P_1.

Такъ какъ углы φ и φ_1 связаны ур. (44), то, возводя его въ квадратъ и дифференцируя, имѣемъ

$$\sin\varphi\cos\varphi\, d\varphi = n^2 \sin\varphi_1 \cos\varphi_1\, d\varphi_1\,; \tag{48}$$

и, дѣля ур. (47) на (48),

$$\varepsilon_1 = n^2\varepsilon\,; \tag{49}$$

а слѣдовательно и

$$e_1 = n^2 e. \tag{50}$$

Но по (43) и (44) мы имѣемъ

$$\frac{\psi}{\psi_1} = \frac{e}{e_1}\,\frac{v_1}{v} = \frac{e}{e_1}\,\frac{1}{n};$$

слѣдовательно по (50)

$$\psi_1 = n^3{}_1\psi. \tag{51}$$

Уравненія (49), (50) и (51), выводъ коихъ основанъ лишь на законахъ разсѣянія лучистой энергіи, должны имѣть мѣсто, какъ для каждаго отдѣльнаго періода колебаній, такъ и для полной энергіи нестройной радіаціи. Они показываютъ, что интенсивность радіаціи и лучеиспускательная способность чернаго тѣла прямо-пропорціональны *квадратамъ* показателей преломленія среды—это и есть законъ Кирхгоффа-Клаузіуса; плотность же нестройной радіаціи прямо-пропорціональна *кубу* показателя преломленія.

Послѣднее соотношеніе можно изобразить и въ другой болѣе наглядной формѣ. Если λ и λ_1 обозначаютъ длину волнъ *одного и того же періода* въ первой и второй средѣ, то, какъ извѣстно:

$$n = \frac{v}{v_1} = \frac{\lambda}{\lambda_1},$$

а слѣдовательно вмѣсто (51) можно написать

$$\psi_1\lambda_1{}^3 = \psi\lambda^3, \tag{51}$$

т. е. количество лучистой энергіи даннаго періода, заключенной въ кубикѣ, ребра котораго равны длинѣ волны, при температурномъ равновѣсіи во всѣхъ прозрачныхъ средахъ одинаково.

Такимъ образомъ мы пришли къ функціи еще болѣе общей, чѣмъ функція Кирхгоффа e_λ.

Функція e_λ даетъ различное распредѣленіе энергіи въ спектрѣ нестройной радіаціи для различно-разсѣвающихъ срединъ. Но, если мы будемъ изображать распредѣленіе нестройной энергіи при разныхъ температурахъ какъ функцію періода, или число колебаній (ν) въ секунду, то величина

$$\psi_\lambda \lambda^3 = F(\nu, T) \tag{52}$$

окажется функціею одинаковою для всѣхъ тѣлъ природы. Она не только не зависитъ отъ свойствъ какихъ-бы то ни было лучеиспускающихъ тѣлъ, но не зависятъ и отъ свойствъ тѣхъ средъ, которыя могутъ являться носителями лучистой энергіи. По Планку [1]) эта функція

$$F(\nu, T) = \frac{8\pi h}{e^{h\nu/kT} - 1}. \tag{53}$$

Абсолютная температура T и число колебаній ν входитъ только въ одномъ мѣстѣ—въ показателѣ при e, величины же h и k суть вполнѣ постоянные коэффиціенты, имѣющіе всеобщее значеніе. Числовыя величины ихъ зависятъ только отъ выбора единицъ времени, энергіи и температуры.

Универсальная роль и самая необходимость существованія такой функціи вытекаютъ изъ тѣхъ общихъ законовъ теоріи вѣроятностей, которые характеризуютъ собою вполнѣ нестройное распредѣленіе какихъ бы то ни было элементовъ въ системѣ, подчиненной закону большихъ чиселъ.

Явленіе Зеемана.

П. А. Зилова.

1. Года три тому назадъ молодой голландскій ученый Зееманъ открылъ новое явленіе, названное по его имени, и состоящее въ томъ, что *магнитныя силы вліяютъ на источникъ свѣта, измѣняя цвѣтъ испускаемыхъ имъ лучей*; это измѣненіе цвѣта край-

---

[1]) M. Planck. Drude's Ann. 4, p. 561; 1901.

не незначительно и незамѣтно глазомъ, но особыми пріемами можетъ быть обнаружено.

Со времени развитія электромагнитной теоріи свѣта, по которой свѣтъ есть электрическое явленіе, было вполнѣ естественно ожидать, что на свѣтъ, какъ на электрическое явленіе, оказываютъ вліяніе электромагнитныя силы. И еще Фарадей, истинный основатель электромагнитной теоріи свѣта, искалъ и отчасти нашелъ это вліяніе; въ 1845 г. онъ нашелъ именно, что магнитныя силы вращаютъ плоскость поляризаціи лучей; позже онъ еще разъ вернулся къ вопросу о вліяніи магнитныхъ силъ на свѣтъ и искалъ не измѣняется-ли цвѣтъ лучей, испускаемыхъ какимъ-нибудь источникомъ, когда вблизи него возбуждается магнитное поле; для этого между полюсами электромагнита помѣщалось пламя, подкрашенное хлористымъ натріемъ; пропуская лучи этого пламени чрезъ спектроскопъ, Фарадей смотрѣлъ не измѣняется-ли спектръ натрія съ возбужденіемъ электромагнита; Фарадею не удалось однако замѣтить какихъ-либо измѣненій въ спектрѣ.

Чрезъ двадцать три года опытъ былъ повторенъ бельгійскимъ ученымъ Фьеве (Fiévez), который, пользуясь очень сильно разсѣвающимъ спектроскопомъ, замѣтилъ, что —при возбужденіи магнитнаго поля около источника—въ спектрѣ его лучей (направленныхъ перпендикулярно къ полю) происходитъ нѣкоторое измѣненіе, а именно посрединѣ каждой изъ полосокъ спектра натрія появляются черныя линіи; это явленіе Фьеве назвалъ *самообращеніемъ* натріевыхъ линій и объяснялъ не прямымъ дѣйствіемъ магнитныхъ силъ на лучи, а тѣмъ, что въ магнитномъ полѣ пламя, будучи діамагнитнымъ, удлиняется въ направленіи перпендикулярномъ къ силовымъ линіямъ, и переднія части пламени поглощаютъ лучи, идущіе отъ заднихъ его частей, вслѣдствіе чего спектральныя линіи отчасти обращаются.

Еще чрезъ одиннадцать лѣтъ тѣмъ же вопросомъ занялся Зееманъ. Онъ въ точности повторилъ опытъ Фарадея; только спектръ подкрашеннаго (натріемъ или литіемъ) пламени получался не при помощи призмъ (какъ это дѣлалъ Фарадей), а съ помощью диффракціонной рѣшетки Роланда; *при возбужденіи электромагнита отчетливо наблюдалось расширеніе спектральныхъ линій.*

2. Какъ только Зееманъ открылъ это явленіе, лейденскій профессоръ Лоренцъ предложилъ его объясненіе.

Въ старой оптикѣ свѣтовыя явленія изучались помимо вся-

каго представленія о *механизмѣ лучеиспусканія*; тамъ нужно было знать только одинъ *механизмъ распространенія* свѣта. Но для объясненія явленія Зеемана необходимо составить себѣ картину лучеиспусканія, т. е. механизма тѣхъ процессовъ, которые происходятъ внутри свѣтящаго тѣла. Электромагнитная теорія свѣта отождествляетъ процессъ распространенія свѣтовыхъ волнъ съ процессомъ распространенія электромагнитныхъ волнъ; въ дополненіе къ этому Лоренцъ предложилъ *электромагнитную теорію лучеиспусканія*, отождествляющую механизмъ свѣтящаго тѣла съ механизмомъ тѣла, испускающаго электромагнитныя волны. Въ опытахъ Герца источникомъ электрическихъ лучей служатъ вибраторы, т. е. металлическія тѣла, въ которыхъ происходятъ электрическія колебанія. При свѣченіи необходимо отдѣльныя частицы въ пламени, искрѣ или гейслеровской трубкѣ считать за самостоятельные центры лучеиспусканія; поэтому естественно каждую частицу свѣтящаго тѣла уподобить герцевскому вибратору.

Самый простой вибраторъ можно устроить изъ наэлектризованнаго тѣла, которое (напр. при помощи руки) качается взадъ и впередъ. Но заряженное тѣло связано съ окружающимъ эѳиромъ; къ нему какъ бы прицѣплены концы незримыхъ эѳирныхъ нитей, протянутыхъ во всѣ стороны; беря въ руки наэлектризованное тѣло, мы какъ бы захватываемъ концы всѣхъ этихъ нитей. Если въ теченіе каждой секунды мы будемъ дѣлать рукою одно полное качаніе, то въ нашихъ нитяхъ возникнутъ волны въ 300 милліоновъ метровъ длины; если бы мы могли дѣлать рукою въ 100 милліоновъ разъ болѣе быстрыя колебанія, то возбудили бы волны, подобныя герцевскимъ; если бы наэлектризованное тѣло совершало сотни билліоновъ качаній въ секунду, то оно испускало бы свѣтъ.

Послѣ всего сказаннаго нетрудно составить себѣ модель свѣтящей частицы. Для этого примемъ, что въ молекулахъ свѣтящаго тѣла находятся мельчайшія заряженныя частички, которыя мы условимся называть *электронами*, при чемъ въ каждой молекулѣ находится столько же положительнаго электричества, сколько и отрицательнаго. Далѣе примемъ, что въ каждой свѣтоиспускающей частицѣ по крайней мѣрѣ одинъ изъ электроновъ можетъ быстро колебаться около своего положенія равновѣсія, всегда испытывая, конечно, силу пропорціональную и противоположную своему перемѣщенію. Наконецъ примемъ, что всякій

разъ, какъ тѣло свѣтитъ, его электроны тѣмъ или другимъ способомъ приходятъ въ колебанія.

Электроны имѣются во всѣхъ свѣтящихъ тѣлахъ; мы должны даже допустить ихъ присутствіе во всѣхъ тѣлахъ вообще, ибо если тѣло не испускаетъ свѣтящихъ лучей, то оно всегда (даже охлажденное до самыхъ низкихъ температуръ) испускаетъ несвѣтящіе лучи; но, какъ извѣстно, эти два рода лучей отличаются другъ отъ друга лишь длиною своихъ волнъ, и въ обоихъ случаяхъ механизмъ лучеиспусканія долженъ быть одинъ и тотъ же.

Итакъ всѣ матеріальныя тѣла наполнены электронами, которые вѣчно, не зная покоя, колеблются. Колебанія электроновъ вызываютъ въ окружающемъ эѳирѣ электромагнитныя волны той же формы и того же періода; если, вслѣдствіе какихъ-нибудь причинъ, форма или періодъ колебаній электроновъ измѣнится, то измѣнится и форма или періодъ электромагнитныхъ волнъ, которыя они вызываютъ въ окружающемъ эѳирѣ.

А какъ поглощается свѣтъ? Для поглощенія электромагнитныхъ волнъ употребляютъ резонаторъ, т. е. проводникъ, въ которомъ встрѣчающія ихъ волны вызываютъ электрическія колебанія. По аналогіи съ этимъ мы примемъ, что поглощеніе свѣта тѣломъ состоитъ въ томъ, что онъ вызываетъ колебанія электроновъ въ частицахъ этого тѣла. Подобныя принужденныя колебанія электроновъ бываютъ различны, смотря по силамъ, которыя удерживаютъ ихъ въ положеніи равновѣсія; этимъ объясняется вліяніе вѣсомой матеріи на свѣтъ; свѣторазсѣваніе надо приписать тому обстоятельству, что электроны въ призмѣ приводятся въ колебанія не одинаково различными сортами лучей, а двойное преломленіе въ кристаллахъ обусловливается различіемъ силъ, противящихся перемѣщеніямъ электроновъ по различнымъ направленіямъ.

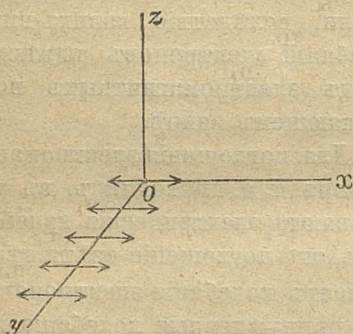
3. Теперь обратимся къ объясненію явленія Зеемана съ точки зрѣнія электромагнитной теоріи лучеиспусканія. Для этого представимъ себѣ, что въ частицѣ свѣтящаго тѣла имѣется одинъ электронъ, который можетъ перемѣщаться во всѣ стороны изъ своего положенія равновѣсія. Если этотъ электронъ выведенъ изъ положенія равновѣсія, то на него дѣйствуетъ упругая сила, стремящаяся вернуть его туда и пропорціональная его перемѣщенію.

Пусть ε зарядъ электрона, m его масса, fr упругая сила, дѣйствующая на электронъ, когда онъ перемѣщенъ на r (f по-

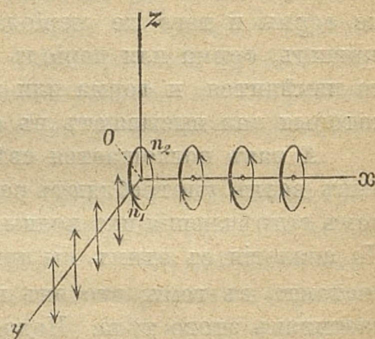
ложительная постоянная); внѣ магнитнаго поля электроны совершаютъ колебанія какой бы то ни было формы—прямолинейныя, эллиптическія или круговыя—съ повторяемостью [1])

1) $$n_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{f}{m}}$$

Пусть это колебаніе прямолинейное; мы всегда можемъ его замѣнить двумя другими прямолинейными колебаніями того же періода: однимъ, направленнымъ по оси x (фиг. 1), и другимъ въ плоскости yz (фиг. 2); но послѣднее колебаніе, какъ извѣстно, въ свою очередь можно замѣнить двумя противоположными круговыми колебаніями съ тою же повторяемостью n_0; если чрезъ r назовемъ



фиг. 2.



фиг. 3.

радіусъ этихъ круговыхъ орбитъ, то обращающіеся по нимъ электроны подвержены центростремительнымъ силамъ fr. Итакъ всякое колебаніе электрона можно считать состоящимъ изъ прямолинейнаго колебанія по оси x и двухъ круговыхъ въ плоскости yz, совершающихся въ противоположныхъ направленіяхъ; для зрителя, смотрящаго по оси x въ 0, одно изъ этихъ послѣднихъ представляется противъ часовой стрѣлки и называется *правымъ*, а другое—*лѣвымъ*.

Непрерывно движущійся электронъ представляетъ изъ себя какъ бы постоянный электрическій токъ; колеблющійся электронъ представляетъ періодическій или колебательный токъ.

Теперь представимъ себѣ, что движеніе электрона совершается въ магнитномъ полѣ, которое пусть направлено по оси x и имѣетъ напряженіе H. Дѣйствіе магнитнаго поля на движущійся электронъ опредѣляется закономъ Біо и Савара: на элек-

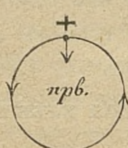
---

[1]) См. *Зиловъ*, Курсъ физики (изд. 3-е) **2**, I, § 15.

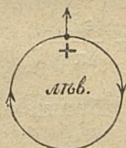
тронъ съ зарядомъ ε, движущійся со скоростью v, дѣйствуетъ магнитная сила $= \varepsilon v H \sin(v, H)$ и перпендикулярная къ плоскости, проходящей чрезъ направленія v и H; эта сила направлена вправо для амперовскаго пловца, смотрящаго навстрѣчу полю (только этотъ пловецъ долженъ располагаться такъ, чтобы положительный электронъ входилъ ему въ ноги и выходилъ изъ головы, а отрицательный электронъ наоборотъ—входилъ въ голову и выходилъ изъ ногъ).

Для прямолинейныхъ движеній электрона по оси x уголъ $(v, H) = 0$ или 180^0 и соотвѣтствующая магнитная сила исчезаетъ: магнитное поле не дѣйствуетъ на параллельныя полю прямолинейныя колебанія электрона, и потому повторяемость такихъ колебаній не измѣняется магнитнымъ полемъ.

Для обращеній электрона въ плоскости yz уголъ $(v, H) = \pm 90^0$, и соотвѣтствующая магнитная сила должна быть перпендикулярна какъ къ v, такъ и къ H. Но H всюду перпендикулярно къ плоскости yz, слѣд. искомая сила всюду лежитъ въ плоскости yz; такъ какъ эта сила еще перпендикулярна къ v,



фиг. 3.



фиг. 4.



фиг. 5.



фиг. 6.

т. е. къ орбитѣ обращенія, то она должна проходить чрезъ центръ круга, по которому обращается электронъ; иначе говоря, магнитная сила, дѣйствующая на обращающійся электронъ, направлена по радіусу его орбиты. Если положительный электронъ обращается вправо, то на него дѣйствуетъ магнитная сила, направленная къ центру (фиг. 3); если же положительный электронъ обращается влѣво, то на него дѣйствуетъ магнитная сила направленная отъ центра (фиг. 4). На отрицательные электроны дѣйствуютъ обратные магнитныя силы (фиг. 5 и 6).

Разсмотримъ ближе силы, дѣйствующія на обращающіеся электроны. Если r радіусъ круговой орбиты, по которой электронъ обращается съ повторяемостью n, то скорость его обращенія будетъ $v = 2\pi n r$ и дѣйствующая на него центростремительная сила должна $= 4\pi^2 m n^2 r$. Изъ чего складывается эта сила?

во-первыхъ изъ упругой силы fr, а во-вторыхъ изъ электромагнитной силы $\pm v\varepsilon H$ или $\pm 2\pi nr\varepsilon H$; такимъ образомъ мы можемъ написать

(2) $$4\pi^2 mn^2 r = fr \pm 2\pi nr\varepsilon H.$$

Раздѣляя все уравненіе на $4\pi^2 mr$, находимъ

$$n^2 = \frac{f}{4\pi^2 m} \pm \frac{n\varepsilon H}{2\pi^2 m}$$

или по (1)

$$n^2 = n_0^2\left(1 \pm \frac{n\varepsilon H}{2\pi^2 mn_0^2}\right);$$

опыты показали, что n очень мало отличается отъ n_0, и потому въ послѣднемъ членѣ предыдущей формулы n/n_0^2 можно принять $= 1/n_0$; слѣд.

$$n = n_0\sqrt{1 \pm \frac{\varepsilon H}{2\pi mn_0}} = n_0\left(1 \pm \frac{\varepsilon H}{4\pi mn_0}\right);$$

такимъ образомъ для положительнаго электрона, обращающагося вправо,

(3) $$n_1 = n_0 + \frac{\varepsilon H}{4\pi m},$$

а для положительнаго электрона, обращающагося влѣво,

(3а) $$n_2 = n_0 - \frac{\varepsilon H}{4\pi m}.$$

Всѣ наши разсужденія приводятъ насъ къ такому конечному заключенію: внѣ магнитнаго поля электрическое колебаніе разлагается на три составляющія колебанія одинакихъ періодовъ—одно прямолинейное по оси x и два круговыхъ въ плоскости yz, а въ магнитномъ полѣ оно разлагается на три такія же составляющія колебанія различныхъ періодовъ.

4. Отъ электрическихъ колебаній электрона въ окружающемъ эѳирѣ распространяются свѣтовыя волны соотвѣтственныхъ формъ и періодовъ.

Разсмотримъ какіе лучи распространяются отъ нашихъ трехъ составляющихъ колебанія электрона; при этомъ ограничимся лишь двумя направленіями: направленіемъ поля (по оси x) и направленіемъ поперекъ поля (въ плоскости yz).

Прямолинейное колебаніе нашего электрона, направленное

по силовымъ линіямъ, не испускаетъ свѣта по направленію этихъ линій, т. е. по оси x, ибо въ эѳирѣ не распространяются продольныя волны. Въ направленіи же перпендикулярномъ къ силовымъ линіямъ, напр. по оси y, это колебаніе испускаетъ лучи, прямолинейно поляризованные въ плоскости перпендикулярной къ силовымъ линіямъ, т е. поляризованные въ плоскости yz.

Круговыя колебанія электрона испускаютъ свѣтъ какъ по направленію поля, такъ и по направленіямъ перпендикулярнымъ къ полю. По направленію поля (т. е. по оси x) электрономъ высылаются два совпадающихъ круговыхъ луча—правый съ повторяемостью n_1 и лѣвый съ повторяемостью n_2. Для всякаго поперечнаго полю направленія, напр. для оси y, круговыя колебанія электрона можно разложить на два: одно перпендикулярное къ оси y (фиг. 2) и другое, направленное по этой оси [1]; послѣднія колебанія не даютъ свѣта (опять потому, что въ эѳирѣ не распространяются продольныя колебанія), а первыя даютъ лучи, прямолинейно поляризованныя въ плоскости, проходящей чрезъ направленіе поля (т. е. чрезъ ось x). Такъ какъ мы имѣемъ два круговыхъ колебанія электрона повторяемостей n_1 и n_2, то поперекъ поля мы получаемъ два луча, прямолинейно поляризованныхъ въ плоскости, проходящей чрезъ направленіе поля, повторяемости коихъ n_1 и n_2.

Итакъ: 1) по направленію поля распространяются два круговыхъ луча съ повторяемостями n_1 и n_2; 2) по каждому поперечному къ полю направленію распространяются три прямолинейно поляризованныхъ луча съ повторяемостями n_1, n_0 и n_2, изъ коихъ крайніе поляризованы въ плоскости, проходящей чрезъ направленіе поля, а средній поляризованъ въ плоскости перпендикулярной къ этому направленію.

5. Если между полюсами электромагнита помѣщается пламя, испускающее монохроматическіе лучи повторяемости n_0, то при возбужденіи электромгнита лучи перестаютъ быть монохроматическими: по направленію поля посылаются лучи двухъ сортовъ (n_1 и n_2), а по перечнымъ направленіямъ даже трехъ сор-

---

[1]) Возможность такого разложенія явствуетъ изъ того, что два взаимно-перпендикулярныхъ прямолинейныхъ колебанія складываются въ круговое: если шарику, подвѣшенному на нити, сообщить одинъ толчокъ и чрезъ четверть колебанія другой толчокъ по перпендикуляру къ первому, то шарикъ начинаетъ обращаться по кругу.

товъ (n_1, n_0 и n_2). Впрочемъ если магнитное поле слабо, эти числа очень близки между собою; если кромѣ того наши средства спектральнаго разложенія недостаточны, то спектральныя линіи представляются намъ не раздѣленными на двѣ и на три, а лишь расширившимися, какъ это и наблюдалъ Зееманъ. Но, когда Лоренцъ далъ свою теорію явленія, Зееманъ сдѣлалъ слѣдующій шагъ впередъ и убѣдился, что края „расширенныхъ" линій поляризованы такъ, какъ того требуетъ эта теорія. Вслѣдъ затѣмъ, съ одной стороны усиливая магнитное поле и раздѣляющую способность оптическихъ приборовъ, а съ другой выбирая болѣе подходящіе источники свѣта, Зееманъ, а за нимъ и другіе убѣдились въ полной справедливости теоріи Лоренца: спектральныя линіи, которыя даются лучами, идущими вдоль поля, раздваиваются, а линіи, которыя даются идущими поперекъ поля лучами, раздѣляются на три. Прилагаемая копія съ увеличенной фотографіи Престона (фиг. 7) доказываетъ это несомнѣннымъ образомъ; въ верхней части представлены линіи цинка (0·4680μ) и кадмія (0·4678μ) внѣ магнитнаго поля, а внизу тѣ же линіи, даваемыя лучами, прошедшими поперекъ магнитнаго поля.



фиг. 7.

Изслѣдуя состояніе поляризаціи тройной линіи, Зееманъ убѣдился, что линія, лежащая ближе къ фіолетовому концу спектра, поляризована влѣво; слѣд. $n_2 > n_1$ и потому въ ур. (3) и (3а) надо принять $\varepsilon < 0$, т. е. надо принять, что наши *электроны, колебаніями коихъ обусловливается излученіе свѣта, заряжены отрицательно.*

6. Итакъ въ процессѣ свѣченія принимаютъ участіе отрицательные электроны, подобно тому, какъ и въ явленіяхъ катодныхъ и беккерелевскихъ лучей. Въ какомъ же отношеніи между собою находятся тѣ и другіе изъ этихъ электроновъ? Изъ ур. (3) и (3а) находимъ

$$n_1 - n_2 = \frac{\varepsilon H}{2\pi m};$$

изъ наблюденій можно измѣрить входящія сюда величины n_1,

n_2 и H, послѣ чего можно вычислить ε/m, т. е. отношеніе, которое характеризуетъ электроны, участвующіе въ актѣ свѣченія. Оказывается, что для разныхъ лучей это отношеніе имѣетъ нѣсколько различныя значенія, но того же порядка, какъ то, которое получается для катодныхъ и беккерелевскихъ лучей [1]); такъ напр. для синихъ лучей кадмія $\varepsilon/m = 1{\cdot}6 \,.\, 10^7$. Отсюда мы должны заключить, что *какъ въ этихъ лучахъ, такъ и въ обыкновенномъ свѣченіи принимаютъ участіе одни и тѣ же электроны.*

7. Большинство изслѣдованныхъ до сихъ поръ спектральныхъ линій удваиваются и утраиваются въ магнитномъ полѣ, какъ того требуетъ изложенная выше теорія. Но встрѣчаются и многочисленныя исключенія изъ этого правила; наиболѣе интересное исключеніе представляетъ натріевая линія D_1, раздѣляющаяся поперекъ поля не на три, а на четыре линіи, какъ если бы средняя линія раздваивалась; это явленіе, открытое Корню и Престономъ, наблюдается и въ нѣкорыхъ другихъ линіяхъ; другія линіи распадаются на 6, 8 и даже 9 составляющихъ. Нѣкоторыя изъ этихъ осложненій могутъ, конечно, зависѣть отъ того, что первоначальная линія не простая, но для объясненія общаго случая явленія Зеемана изложенная элементарная теорія все-таки недостаточна.

Актино-электрическія явленія

Е. Биша и Р. Свинжедау [2]).

Электрическія явленія, вызываемыя дѣйствіемъ свѣтовыхъ лучей, или такъ называемыя *актино-электрическія явленія* были уже давно подмѣчены. Еще Эд. Беккерель показалъ, что электрическіе токи возникаютъ подъ дѣйствіемъ свѣта. При своихъ знаменитыхъ изслѣдованіяхъ надъ электрическими колебаніями Герцъ нашелъ, что длина искры въ его вибраторѣ удлиняется отъ одного того,

---

[1]) См. *Физическое Обозрѣніе* т. 1 (1900) стр. 67 и 212.

[2]) Сокращенный переводъ доклада на физическомъ конгрессѣ 1900 г.: Sur les phénomènes actino-électriques produits par les rayons violets. Par *E. Bichat,* correspondant de l'institut, prof. à la faculté des sciences de l'université de Nancy, et *E. Swingedauw,* maitre de conférences à la faculté des sciences de l'université de Lille (§ 5 прибавленъ редакціею).

что шарики послѣдняго освѣщаются другою искрою или инымъ источникомъ, богатымъ ультрафіолетовыми лучами. Нѣсколько времени спустя, Гальваксъ обнаружилъ вліяніе сильно преломляемыхъ лучей на потерю проводникомъ отрицательнаго электричества; Риги и Столѣтовъ почти одновременно изобрѣли новые способы изслѣдовать эту потерю электричества проводниками, заряженными до малыхъ потенціаловъ.

Мы изложилъ сперва работы относительно потери заряда, а затѣмъ тѣ, которые касаются уменьшенія разряднаго разстоянія.

I. *Потеря заряда.*

1) *Основныя явленія.* Легко удостовѣриться, что подъ вліяніемъ свѣта проводникъ разряжается; для этого достаточно освѣтить электрическою лампою проводникъ, соединенный съ электроскопомъ. Если проводникъ заряженъ отрицательно, его освѣщеніе вызываетъ быстрое схожденіе золотыхъ листочковъ; если же проводникъ заряженъ положительно, то освѣщеніе не производитъ никакого дѣйствія. Вотъ методъ, употребляемый Гальваксомъ.

Риги и Столѣтовъ поступали иначе. Металлическая пластинка и такая же сѣтка располагались параллельно въ разстояніи нѣсколькихъ миллиметровъ другъ отъ друга. Риги соединялъ эту пластинку и сѣтку съ квадрантъ-электрометромъ; Столѣтовъ соединялъ пластинку съ отрицательнымъ полюсомъ гальванической батареи (изъ сотни элементовъ), а сѣтку съ ея положительнымъ полюсомъ и вводилъ въ цѣпь чувствительный гальванометръ. Освѣщая пластинку чрезъ сѣтку, замѣчали отклоненіе стрѣлки гальванометра; если же наоборотъ сѣтка соединена съ отрицательнымъ полюсомъ, а пластинка съ положительнымъ, то въ указанномъ опытѣ стрѣлка не отклонялась; слѣд. въ нашей цѣпи получался электрическій токъ. Въ воздухѣ обыкновеннаго давленія этотъ токъ возрастаетъ медленнѣе электродвижущей силы батареи; при непрерывномъ увеличеніи послѣдней достигается извѣстнаго рода насыщеніе.

При непрерывномъ разрѣженіи воздуха дѣйствіе лучей сперва увеличивается, а затѣмъ уменьшается, проходя чрезъ maximum. Столѣтовъ нашелъ, что давленіе, соотвѣтствующее этому maximum, пропорціонально заряду конденсатора, образовываемаго сѣткою и пластинкою.

Гальваксъ показалъ, что во всѣхъ этихъ опытахъ *актив-*

ными лучами являются фіолетовые и ультрафіолетовые. Поэтому выгодно свѣтъ, которымъ пользуются въ этихъ опытахъ, обогатить наиболѣе преломляемыми лучами; этого легко достичь снабжая положительный уголь алюминіевою сердцевиною или образуя вольтову дугу между углемъ и цинковою палочкою.

Впрочемъ при извѣстныхъ обстоятельствахъ и другіе лучи оказываютъ такіе же дѣйствія; такъ Эльстеръ и Гейтель показали, что земельно-щелочные металлы и ихъ амальгамы теряютъ свой отрицательный зарядъ подъ вліяніемъ очень слабаго свѣта; на натрій дѣйствуетъ свѣтъ свѣчи, поставленной въ разстояніи нѣсколькихъ метровъ отъ него; въ этомъ случаѣ активные лучи простираются до предѣла краснаго цвѣта спектра.

Бранли показалъ, что свѣже полированный алюминій чрезвычайно чувствителенъ; дневной свѣтъ достаточенъ, чтобы произвести его разряженіе; свѣтъ оказываетъ еще дѣйствіе, пройдя чрезъ желтое стекло; впрочемъ красное стекло прекращаетъ это дѣйствіе лучей.

Всѣ вещества прозрачныя для фіолетовыхъ и ультрафіолетовыхъ лучей, какъ кварцъ, гипсъ и рѣчной шпатъ, пропускаютъ активные лучи; стекло и слюда задерживаютъ ихъ въ сильной степени. Тонкій слой воды, покрывающій слюдяную пластинку, не мѣшаетъ активнымъ лучамъ проходить чрезъ пластинку. Риги нашелъ, что нѣкоторые газы (свѣтильный газъ, пары сѣрнистаго углерода и др.) сильно поглощаютъ активные лучи.

Если тѣло, заряженное отрицательно, прозрачно для активныхъ лучей, то дѣйствіе послѣднихъ слабѣе. Если металлическую пластинку въ приборѣ Столѣтова замѣнить слоемъ воды, то не замѣчается отклоненія стрѣлки гальванометра. Гальваксъ нашелъ, что на непрозрачныя жидкости (растворы фуксина, ціанина) активные лучи дѣйствуютъ, какъ на металлы.

2) *Дѣйствіе на незаряженныя тѣла.* Во всѣхъ описанныхъ выше опытахъ свѣтъ дѣйствовалъ на тѣла, которыя были предварительно заряжены. Риги показалъ, что это предварительное заряженіе не необходимо. Если дискъ и сѣтка, сдѣланные изъ различныхъ металловъ, соединены съ квадрантъ-электрометромъ, стрѣлка котораго заряжена, то при освѣщеніи диска чрезъ сѣтку стрѣлка отклоняется. Это отклоненіе зависитъ только отъ употребленныхъ металловъ и не зависитъ ни отъ предварительнаго заряда диска, ни отъ разстоянія его отъ сѣтки. Если сперва сдѣлать дискъ изъ металла A, а сѣтку изъ металла B, а за-

тѣмъ наоборотъ—дискъ изъ B, а сѣтку изъ A, то освѣщеніе вызываетъ отклоненія стрѣлки электрометра въ разные стороны. Слѣд. такая система освѣщенныхъ металловъ образуетъ гальваническій элементъ, который можно назвать *фото-электрическимъ.*

Если въ этихъ опытахъ устранить сѣтку и просто освѣщать изолированное и незаряженное тѣло, то оно тоже электризуется, но гораздо медленнѣе. Повидимому сосѣднія тѣла играютъ при этомъ роль металлической сѣтки въ предыдущихъ опытахъ.

При этихъ условіяхъ проводники обыкновенно заряжаются положительно; впрочемъ въ нѣкоторыхъ исключительныхъ случаяхъ наблюдалось и отрицательное заряженіе.

Замѣтимъ наконецъ, что какъ уголъ паденія лучей, такъ и азимутъ изъ поляризаціи, повидимому, имѣетъ нѣкоторое вліяніе на разсматриваемое явленіе.

3) *Объясненіе атмосфернаго электричества.* Бьюссонъ нашелъ, что подъ дѣйствіемъ ультрафіолетовыхъ лучей сухой ледъ представляетъ всѣ свойства металла; смоченный ледъ не обнаруживаетъ такихъ свойствъ. Сближая этотъ фактъ съ тѣми, что электрическое дѣйствіе ультрафіолетовыхъ лучей возрастаетъ съ уменьшеніемъ давленія и что атмосфера сильно поглощаетъ активные лучи солнечнаго пучка, Брилуенъ далъ слѣдующее объясненіе электризаціи атмосферы. По его мнѣнію эта электризація обусловливается дѣйствіемъ солнечнаго свѣта на ледяныя иглы перистыхъ облаковъ. Освѣщенные солнцемъ эти иглы, плавая въ сравнительно разрѣженномъ воздухѣ, теряютъ свое отрицательное электричество; вслѣдствіе этого окружающій воздухъ заряжается отрицательно, но не дѣлается оттого проводящимъ. Отрицательно наэлектризованный воздухъ, приходя въ соприкосновеніе съ землею, отдаетъ ей свой зарядъ чрезъ посредство безчисленнаго множества остріевъ растеній. На поверхности моря этотъ воздухъ насыщается парами; образующіяся здѣсь капельки тоже заряжаются отрицательно; такимъ образомъ и кучевыя облака океаническихъ областей тоже отрицательно заряжены. Многіе наблюдаемые факты согласны съ этою теоріею.

II. Удлиненіе электрической искры.

4) *Исторія и способы наблюденія.* Въ своихъ опытахъ надъ резонаторомъ Герцъ, желая сдѣлать его искру болѣе замѣтною, помѣстилъ приборъ въ непрозрачный ящикъ; при этомъ длина

искры значительно уменьшилась. Отыскивая причину такого явленія, онъ открылъ дѣйствіе ультрафіолетовыхъ лучей. Сначала онъ доказалъ, что въ данномъ случаѣ ящикъ не игралъ роли электростатическаго или электродинамическаго экрана; затѣмъ онъ доказалъ, что явленіе вызывается исключительно искрою вибратора. Для изслѣдованія дѣйствія искры онъ расположилъ приборы слѣдующимъ образомъ: первичные обмотки двухъ индукторовъ введены въ одну цѣпь съ одною батареею и однимъ прерывателемъ; концы каждой изъ секундарныхъ обмотокъ соединены съ вибраторами, въ которыхъ одновременно получаются двѣ искры. Одинъ изъ вибраторовъ раздвинутъ на наибольшее разстояніе, на которомъ получается искра при каждомъ размыканіи; это пассивный вибраторъ. Другой вибраторъ раздвинутъ на меньшее разстояніе, такъ что въ немъ всегда происходитъ искра; это активный вибраторъ.

Если между вибраторами помѣстить металлическую или стеклянную пластинку, то въ пассивномъ вибраторѣ искра прекращается; она вновь появляется, когда пластинка устранена. Явленіе дѣлается тѣмъ болѣе рѣзкимъ, чѣмъ меньше разстояніе между вибраторами; перегородка уменьшаетъ до половины длину искры, помѣщенной въ разстояніи 5 cm. отъ активнаго вибратора.

Дѣйствіе активной искры не зависитъ отъ полюсовъ, между которыми она проскакиваетъ; такое дѣйствіе распространяется прямолинейно по законамъ свѣтовыхъ лучей; это можно доказать при помощи экрановъ со щелями. Большинство твердыхъ тѣлъ поглощаетъ активные лучи; нѣкоторые кристаллы (кварцъ) пропускаютъ ихъ; между жидкостями чистая вода, алкоголь и эфиръ прозрачны, а расплавленный парафинъ, бензинъ керосинъ и сѣроуглеродъ почти совсѣмъ непрозрачны.

Активные лучи отражаются и преломляются по законамъ отраженія и преломленія свѣта. Если между искрами помѣстить кварцевую призму, то искра въ пассивномъ вибраторѣ прекращается; она возобновляется, когда этотъ вибраторъ перемѣстить къ основанію призмы.

Въ данномъ случаѣ активными лучами служатъ, очевидно, ультрафіолетовые лучи искры. Въ этомъ удостовѣряютъ насъ опыты съ поглощеніемъ: вещества, поглощающія ультрафіолетовые лучи, какъ стекло, бензолъ и проч., задерживаютъ и дѣйствіе искры; вещества же прозрачныя для этихъ лучей, пропу-

скаютъ чрезъ себя дѣйствіе искры. Активную искру въ нашемъ опытѣ можно замѣнить инымъ источникомъ свѣта; опытъ удается тѣмъ лучше, чѣмъ источникъ богаче ультрафіолетовыми лучами; друммондова лампа и въ особенности горящій магній очень активны; солнечный свѣтъ не оказываетъ никакого дѣйствія, что объясняется поглощеніемъ атмосферою ультрафіолетовыхъ лучей солнца; вольтова дуга дѣйствуетъ очень сильно. Послѣ всего этого можно принять заключеніе Герца, что *ультрафіолетовые лучи имѣютъ свойство удлинять электрическую искру.*

Эльстеръ и Гейтель нашли, что щелочные и земельно-щелочные металлы, а также ихъ амальгамы чувствительны къ свѣтящимъ лучамъ. Видеманъ и Эбертъ нашли, что въ углекислотѣ платиновый вибраторъ разряжается подъ дѣйствіемъ лучей, прошедшихъ чрезъ стекло.

Свой мемуаръ Герцъ заканчиваетъ такими словами: „было бы желательно воспроизвести эти дѣйствія въ болѣе простыхъ условіяхъ, чѣмъ электрическій разрядъ". Видеманъ и Эбертъ осуществили это пожеланіе, изучая явленіе при помощи электрической машины: два параллельно расположенныхъ искровыхъ микрометра соединяютъ съ полюсами гольцевской машины; на концы одного микрометра надѣты большіе шары въ 14 mm. діаметра, на концы другого, который мы будемъ называть пассивнымъ вибраторомъ,—малые шарики въ 3 mm. діаметра; послѣдній микрометръ заключенъ въ стеклянную трубку съ кварцевымъ окошкомъ. Концы 1-го микрометра раздвигаютъ настолько, чтобы малѣйшее увеличеніе разстоянія между ними влекло за собою появленіе искры въ пассивномъ вибраторѣ. Если же не измѣняя 1-го микрометра сосредоточить на пассивномъ вибраторѣ свѣтъ вольтовой дуги (при помощи кварцевой линзы и пропуская лучи чрезъ кварцевое окошко), то въ немъ тотчасъ же появляется искра. Для возвращенія искры въ первый микрометръ, концы его надо сблизить. Это измѣненіе разряднаго разстоянія выражаетъ дѣйствіе ультрафіолетовыхъ лучей.

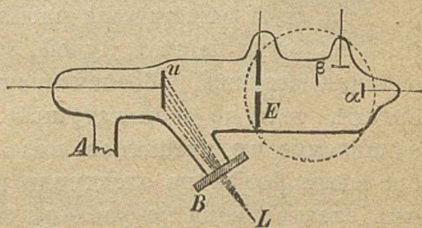
Можно пользоваться еще инымъ способомъ наблюденія: вводятъ телефонъ между землею и однимъ изъ полюсовъ пассивнаго вибратора: измѣненіе повторяемости искръ въ немъ, оцѣниваемое по повышенію или пониженію звука телефона, даетъ понятіе объ удлиненіи разряднаго разстоянія.

5. Не приводя прежнихъ объясненій актино-электрическихъ

явленій, остановимся только на новѣйшихъ изслѣдованіяхъ Ленарда, которыя проливаютъ яркій свѣтъ на ихъ сущность.

Первый вопросъ, на который обратилъ свое вниманіе Ленардъ, состоялъ въ томъ: каковы носители зарядовъ въ актиноэлектрическихъ разрядахъ? Давно подмѣченное распыленіе тѣлъ, освѣщаемыхъ ультрафіолетовыми лучами, какъ бы указывало на то, что этими носителями служатъ матеріальныя частицы освѣщаемаго тѣла. Ленардъ произвелъ такой опытъ: чистая поверхность натріевой амальгамы, окруженной водородомъ, освѣщалась такъ долго, пока не потеряла 3.10^{-6} coul. отрицательнаго электричества, которое переносилось на платиновую проволоку; если бы при этомъ носителями зарядовъ были атомы натрія, то—сообразно съ электрохимическимъ эквивалентомъ натрія—на проволокѣ осѣло бы $0{\cdot}7.10^{-6}$ mgr. натрія; внесенная въ безцвѣтное пламя бунзеновской горѣлки, такая проволока не окрашиваетъ его, хотя даже вдвое меньшее количество натрія вызываетъ вполнѣ замѣтное окрашиваніе пламени. Итакъ въ актино-электрическомъ разрядѣ обыкновенныя матеріальныя частицы участія не принимаютъ.

Вслѣдъ затѣмъ Ленардъ устроилъ разрядную трубку съ электродами *u*, *E*, *α* и β (фиг. 1); первый изъ нихъ оканчивается большимъ алюминіевымъ дискомъ, второй *E* снабженъ параллельною предыдущему диску діафрагмою и всегда отведенъ къ землѣ; боковая трубочка *A* соединяется съ разрѣжающимъ насосомъ; въ *L* помѣщается источникъ (искра индуктора), лучи котораго чрезъ кварцевую пластинку *B*, закрывающую боковую трубочку, попадали на электродъ *u*. Если послѣдній соединенъ съ отрицательно заряженнымъ тѣломъ и съ электроскопомъ, то при его освѣщеніи лучами искры листочки электроскопа быстро сходятся; этого не наблюдается, если электродъ *u* заряженъ положительно. Такимъ образомъ въ разрѣженномъ воздухѣ актино-электрическія явленія происходятъ также, какъ и въ обыкновенномъ воздухѣ. Отсюда слѣдуетъ заключить, что разсматриваемое разряженіе не обусловливается воздухомъ. Носители этихъ зарядовъ мы будемъ называть *электронами*.



фиг. 1.

Эти опыты Ленарда обнаруживаютъ одно чрезвычайно важное обстоятельство, а именно, что подъ вліяніемъ ультрафіолетовыхъ лучей электричество проникаетъ въ чрезвычайно разрѣженное пространство, которое прежде считалось для него недоступнымъ. Замѣтимъ здѣсь, что то же имѣетъ мѣсто и въ случаѣ катодныхъ лучей, порождаемыхъ разрядами въ крайне разрѣженныхъ газахъ; отмѣтимъ и ту общую обоимъ явленіямъ черту, что пустоту проникаетъ одно лишь отрицательное электричество.

По какому пути перемѣщаются наши электроны, которые подъ дѣйствіемъ свѣта выходятъ изъ катода? Риги доказалъ, что въ обыкновенномъ воздухѣ они перемѣщаются по силовымъ линіямъ; но при постепенномъ разрѣженіи воздуха пути электроновъ приближаются къ прямымъ нормальнымъ къ поверхности катода. Вотъ какъ Ленардъ обнаружилъ это: электродъ u предыдущей разрядной трубки заряжался до -3000 volt, α и β соединялись съ электроскопами; когда u освѣщался, листочки электроскопа, соединеннаго съ α, расходились, а въ электроскопѣ, соединенномъ съ β, листочки не расходились; слѣдовательно не вся трубка наполнялась электронами; *отрицательные электроны, выходящіе изъ проводника подъ дѣйствіемъ свѣта, образуютъ прямолинейный пучекъ лучей, проходящій чрезъ E и достигающій α.*

Эти лучи отклоняемы магнитными силами. Для обнаруженія этого свойства нашихъ лучей, передъ трубкою помѣщалась проволочная катушка, обозначенная пунктиромъ на предыдущемъ чертежѣ; если по этой катушкѣ пустить электрическій токъ, то развиваемое ею магнитное поле отклоняетъ лучи, которые не попадаютъ болѣе на электродъ α, и листочки соединеннаго съ нимъ электроскопа не расходятся. Если токъ въ катушкѣ достаточно великъ, то отклоняемыя магнитною силою поля лучи встрѣчаютъ электродъ β и листочки соединеннаго съ нимъ электроскопа расходятся. Слѣд. *все явленіе происходитъ такъ, какъ если бы изъ освѣщаемаго электрода выходили катодные лучи.*

Природу носителей электрическихъ зарядовъ въ нашемъ опытѣ можно еще ближе опредѣлить при помощи нѣкоторыхъ измѣрительныхъ опытовъ. Назовемъ m массу и ε зарядъ одной изъ частичекъ, образующихъ наши лучи; пусть частичка, покидая электродъ u, обладаетъ скоростью v_0, а пройдя путь, на протяженіи котораго потенціалъ поля измѣняется на P, пріобрѣтаетъ скорость v. Совершаемую при этомъ работу, можно вы-

разить двояко: во-первыхъ какъ измѣненіе живой силы частички, т. е. $m(v^2-v_0^2)/2$, и во-вторыхъ какъ εP; слѣд. мы можемъ написать

$$v^2-v_0^2=\frac{2\varepsilon}{m}P. \tag{1}$$

Пустимъ электрическій токъ въ катушку, вслѣдствіе чего въ разрядной трубкѣ развивается магнитное поле, направленное перпендикулярно къ лучамъ и напряженіе коего назовемъ f; при этихъ условіяхъ частички лучей перемѣщаются въ плоскости перпендикулярной къ магнитному полю, описывая дугу круга, радіусъ котораго опредѣляется формулою (см. Физич. Обозр. т. 1 (1900), стр. 65)

$$R=\frac{v}{f}\frac{m}{\varepsilon} \tag{2}$$

Напряженіе поля f, можно оцѣнить по величинѣ тока въ катушкѣ; если чрезъ f_1 назовемъ это напряженіе при $i=1$, то $f=if_1$. Ленардъ бралъ такой токъ, чтобы лучи, выходящіе изъ діафрагмы E, попадали на электродъ β и чтобы частички этихъ лучей описывали вполнѣ опредѣленный путь — дугу круга, центръ которой лежитъ на продолженіи электрода E и на перпендикулярѣ къ хордѣ $E\beta$, проведенномъ чрезъ ея средину. Замѣтимъ, что v_0 очень мало сравнительно съ v, и потому начальною скоростью можно пренебречь. Послѣ этого наши формулы даютъ

$$\frac{P}{i^2}=\frac{f_1^2R^2}{2}\frac{\varepsilon}{m}. \tag{3}$$

Не входя въ подробности опытовъ, приведемъ только результаты ихъ:

$10^{-8}P$ (c. g. s.)	i (amp.)	$10^{-9}P/i^2$	$10^{-7}\varepsilon/m$ (cm.$^{1/2}$ gr.$^{-1/2}$)	$10^{-10}v$ (cm. sec^{-1})
607	0·65	144	1·17	0·12
4380	1·78	138	1·12	0·32
12600	2·94	146	1·18	0·54

Итакъ въ данномъ случаѣ отношеніе ε/m того же порядка, какъ и для катодныхъ лучей (см. Физ. Обозр. т. 1 (1900), стр. 67), а отсюда можно заключить о тождествѣ носителей зарядовъ

какъ въ катодныхъ лучахъ, такъ и при актино-электрическихъ разрядахъ.

Такъ какъ числовое значеніе ε/m не установлено съ точностью и въ разныхъ опытахъ опредѣляется различно, то Ленардомъ были образованы настоящіе катодные лучи въ описанной разрядной трубкѣ (для чего электродъ *u* соединялся съ электрическою машиною) и опредѣлялось отношеніе P/i^2, которое необходимо для того, чтобы свѣтлое пятнышко, даваемое катодными лучами, съ электрода α переводилось на электродъ β; для этого отношенія получились числа между 1·14 и $1{\cdot}49.10^7$—очень близкія къ приведеннымъ въ предыдущей табличкѣ.

Все это даетъ право заключить, что при актино-электрическихъ разрядахъ носителями электричества являются тѣ же частички первичной матеріи, которыя участвуютъ въ образованіи катодныхъ лучей. Можно слѣдовательно сказать, что *отрицательно заряженный проводникъ, будучи освѣщенъ, испускаетъ катодные лучи*, которые его и разряжаютъ.

Если проводникъ находится не въ пустотѣ, какъ мы до сихъ поръ себѣ представляли, а въ газѣ, то указанный процессъ всетаки происходитъ, но катодные лучи, испускаемые освѣщенною поверхностью, сильно поглощаются газомъ и передаютъ послѣднему свои заряды; послѣ чего частицы газа переносятъ свои заряды по силовымъ линіямъ; такой газъ является какъ бы электропроводящимъ.

Физическій классъ.

3. Электроскопъ.

С. Е. Троцевича [1]).

Извѣстно, что съ электроскопомъ Вольты можно произвести всѣ главнѣйшіе опыты по электростатикѣ; нужно только, чтобы электроскопъ былъ достаточно чувствителенъ и чтобы онъ долго не терялъ сообщенныхъ ему зарядовъ. Я опишу здѣсь приготовленный мною электроскопъ и тѣ опыты, которые я съ нимъ показываю.

---

[1]) Сообщеніе, сдѣланное 20 января 1901 г. въ Варшавскомъ Кружкѣ преподавателей физики и математики.

На фиг. 2 электроскопъ изображенъ въ половину натуральной величины; черными представлены тѣ части (*a*, *b* и *c*), которыя сдѣланы изъ твердаго каучука.

Берутъ стеклянный стаканъ *A* и въ серединѣ его дна просверливаютъ круглое отверстіе (діаметръ около 1 cm.). Затѣмъ слѣдуетъ приготовить на токарномъ станкѣ части *a*, *b* и *c* (фиг. 1); эти части готовятся изъ эбонита или твердаго каучука, который покупается въ видѣ круглыхъ палочекъ разной толщины. Важно, чтобы части *a* и *b* были по возможности шире; слѣдовательно ихъ нужно приготовить изъ толстой каучуковой пал-

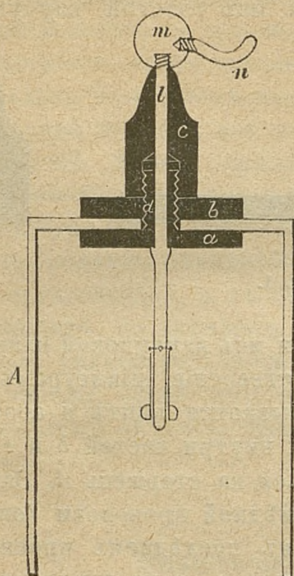


фиг. 1.

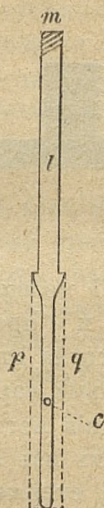
ки; часть *b* можно приготовить и изъ каучуковой пластинки. Въ частяхъ *a* и *c* просверливается отверстіе, діаметромъ въ 3 mm. Кромѣ того на стержнѣ *d* нарѣзывается винтъ и соотвѣтственныя винтовыя нарѣзки дѣлаются внутри частей *b* и *c* такъ, чтобы послѣднія могли навинчиваться на стержень *d*. Затѣмъ надо приготовить изъ латунной или мѣдной проволоки (около 4 mm. толщиною) стержень *l* (фиг. 3); въ послѣднемъ просверливаютъ поперечный цилиндрическій каналъ *c*, а на верхнемъ концѣ *m* винтовую нарѣзку для навинчиванія шарика; бока стержня, *p* и *q*, спиливаются параллельно оси цилиндрическаго отверстія *c*; затѣмъ изъ цинковаго листа вырѣзываютъ двѣ тонкія полоски, ширина которыхъ равнялась бы ширинѣ спиленныхъ боковъ стержня; эти пластинки располагаютъ вдоль опиленныхъ боковъ стержня и, прижавъ ихъ къ стержню пальцами, крѣпко обматываютъ ниткою, чтобы онѣ не сдвигались. На чертежѣ (фиг. 4) изображено въ увеличенномъ видѣ поперечное сѣченіе стержня *l* плоскостью, проходящею вдоль цилиндрическаго канала *c*, причемъ черныя полоски *Zn* и *Zn'* представляютъ поперечныя сѣченія цинковыхъ пластинокъ. Чрезъ отверстіе *c* продѣваютъ тонкую проволоку, захвативъ пальцами продѣтый конецъ проволоки, огибаютъ ею стержень съ одного бока, продѣваютъ конецъ второй разъ чрезъ

отверстіе *c*, по тому же направленію, что и въ первый разъ; затѣмъ, опять, захвативъ продѣтый конецъ проволоки, огибаютъ ею стержень съ другого бока и продѣваютъ тотъ же конецъ въ третій разъ чрезъ отверстіе; цифры и стрѣлки показываютъ последовательное движеніе продѣваемаго конца проволоки.

Подтягивая проволоку за концы *A* и *B*, уменьшаютъ петли 2 и 3 до тѣхъ поръ, пока проволока не расположится на поверхностяхъ обѣихъ цинковыхъ пластинокъ по прямымъ линіямъ, прилегая къ нимъ; послѣ этого, въ отверстіе *c* вдѣваютъ тонкій



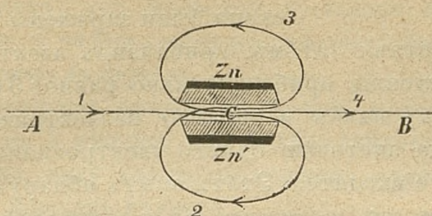
фиг. 2.



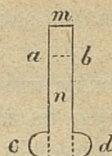
фиг. 3.

деревянный стерженекъ для закрѣпленія проволоки; выдающіеся концы деревяннаго стерженька и проволоки осторожно срѣзываются ножикомъ, а цинковыя пластинки удаляются прочь; такимъ образомъ по обѣимъ опиленнымъ сторонамъ стержня образуются проволочныя петли. Остается на нихъ закрѣпить листочки. Для этой цѣли вырѣзываютъ изъ цвѣтной бумажки два листочка такой формы и размѣра, какъ показано на фиг. 5; листочекъ кладутъ на ровную поверхность, проводятъ на немъ черту *ab* и вдоль этой черты кладутъ иголку. Приподнявъ ножикомъ верхній конецъ *m* и огибая имъ иголку, приводятъ его до прикосновенія съ нижнею частью листочка *n*, причемъ игол-

ка должна оставаться неподвижно на мѣстѣ, будучи прижата къ листочку пальцемъ. Сдѣлавъ это, прижимаютъ ножикомъ загнутый конецъ листочка къ нижней части *n* такъ, чтобы ребро ножика прилегало къ иголкѣ; этимъ придается изгибу *ab* желаемая форма. Затѣмъ, отогнувъ слегка конецъ *m* обратно, просовываютъ его чрезъ одну изъ боковыхъ петель стержня снизу вверхъ и, смазавъ его клеемъ, опять приводятъ его до прикосновенія съ нижнею частью листочка *n*, къ которой и приклеиваютъ его слабымъ нажатіемъ пальца или ножика. Такимъ же образомъ прикрѣпляется и другой листочекъ съ обратной сто-



фиг. 4.

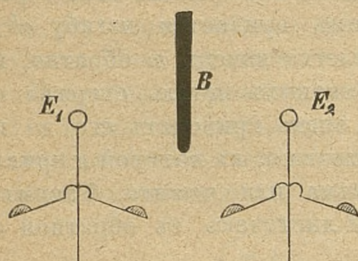


фиг. 5.

роны стержня. Надо только наблюдать, чтобы клей не попалъ случайно между проволокую и бумажкою; листочекъ долженъ непремѣнно свободно вращаться около проволочки петли. Выдающіяся части *c* и *d* листочка загибаются наружу подъ прямымъ угломъ. Когда эта работа кончена и клей на листочкахъ засохъ, берутъ каучуковую часть *a* (фиг. 3), бросаютъ въ стаканъ съ просверленнымъ дномъ и часть *d* съ винтовою нарѣзкою проталкиваютъ чрезъ просверленное во днѣ стакана отверстіе. На выходящую наружу часть навинчиваютъ кружекъ *b*, а затѣмъ и часть *c*, какъ показано на фиг. 2. Въ образовавшееся отверстіе въ навинченныхъ частяхъ вдвигаемъ тонкій конецъ стержня *l*, который долженъ входить въ это отверстіе со слабымъ треніемъ. Затѣмъ, на вышедшій наружу конецъ *m* навинчиваютъ шарикъ. Въ шарикѣ должно быть углубленіе съ винтовою нарѣзкою, чтобы имѣть возможность прикрѣпить къ шарику крючекъ или остріе.

Имѣя два такихъ электроскопа, можно съ большимъ успѣхомъ произвести много опытовъ по электричеству. Опишу нѣкоторые изъ такихъ опытовъ.

1 опытъ. Беремъ мягкую резиновую пластинку, натираемъ ею палку изъ твердаго каучука и одинъ изъ электроскоповъ заряжаемъ электричествомъ, образовавшимся на резиновой пластинкѣ, а другой—электричествомъ, образовавшимся на каучуковой палкѣ, притомъ такъ, чтобы листочки обоихъ электроскоповъ отклонялись на одинаковый уголъ (и чтобы оба тождественныхъ электроскопа были заряжены равными количествами электричествъ). Затѣмъ, приблизивъ электроскопы другъ къ другу на разстояніе приблизительно равное 3 cm., двигаемъ между ними сверху внизъ и обратно наэлектризованную каучуковую палку; тогда листочки одного электроскопа расходятся, а листочки другого сходятся. Этотъ опытъ обнаруживаетъ, что *при треніи на одномъ изъ трущихся тѣлъ развивается положительное электричество, а на другомъ отрицательное.* Затѣмъ, беремъ одинъ изъ электроскоповъ въ лѣвую руку (захватывая, конечно за стеклянный стаканъ, а не за шарикъ электроскопа), а другой въ правую, и приводимъ шарики обоихъ электроскоповъ до взаимнаго прикосновенія. Поставивъ электроскопы опять на столъ, мы не замѣтимъ въ нихъ присутствія электричества. Значитъ, *противоположныя электричества, въ равныхъ количествахъ, взаимно уничтожаются.*



фиг. 6.

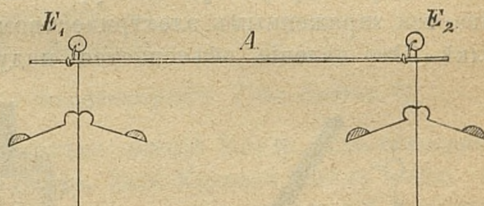
2 опытъ. Натремъ каучуковую палку сукномъ, къ наэлектризованной части этой палки прикасаемся пробнымъ кружкомъ и перенесемъ имъ электричество на электроскопъ. Листочки электроскопа расходятся. Затѣмъ, переносимъ на электроскопъ такимъ же образомъ новое количество электричества; тогда листочки еще болѣе расходятся. Этотъ опытъ поясняетъ намъ, что *электрическій зарядъ можно оцѣнивать количественно: онъ можетъ быть меньше и больше.*

3 опытъ. Сообщаемъ нашимъ электроскопамъ разныя количества одного электричества; при чемъ листочки въ одномъ электроскопѣ разойдутся на меньшій уголъ, чѣмъ въ другомъ. Запомнивъ величины этихъ угловъ, беремъ одинъ изъ электроскоповъ въ руку, прикасаемся шарикомъ его къ шарику другого электроскопа и опять ставимъ электроскопъ на прежнее

мѣсто. Послѣ этого окажется, что уголъ расхожденія листочковъ въ обоихъ электроскопахъ будетъ одинаковъ и по величинѣ средній между величинами угловъ, которые наблюдались до прикосновенія шариковъ. Значитъ, *электричество перемѣщается изъ проводника большаго потенціала въ проводникъ меньшаго потенціала.*

4 опытъ. Въ шарики обоихъ электроскоповъ завинчиваемъ по металлическому крючку и, поставивъ электроскопы на разстояніи, напр. одного аршина другъ отъ друга, кладемъ на ихъ крючки проволоку *A* (фиг. 6), напр. желѣзную. Послѣ этого одному изъ электроскоповъ сообщаемъ зарядъ. Тогда листочки въ обоихъ электроскопахъ моментально расходятся, что показываетъ, что *желѣзная проволока мгновенно проводитъ электричество и по ней электричество свободно перетекаетъ отъ одного электроскопа къ другому.*

Повторимъ опытъ, замѣнивъ проволоку льняною ниткою длиною въ 1 аршинъ или болѣе (дѣлаемъ петли на концахъ ея, надѣваемъ одну петлю на крючекъ одного электроскопа, а другую—на крючекъ другого электроскопа и отодвигаемъ электроскопы другъ отъ друга до тѣхъ поръ, пока нитка не выпрямится). Послѣ этого опять сообщаемъ одному изъ электроскоповъ электричество; листочки этого электроскопа моментально расходятся; листочки другого электроскопа, соединеннаго съ первымъ ниткою, тоже расходятся, но медленно, пока, наконецъ, не образуютъ уголъ, одинаковый съ угломъ листочковъ перваго электроскопа. Значитъ, *льняная нитка, хотя и проводитъ электричество, но медленнѣе, чѣмъ проволока.*

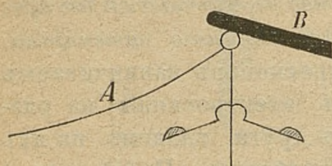


фиг. 7.

Замѣнимъ теперь льняную нитку шелковою. Тогда при сообщеніи электричества одному изъ электроскоповъ листочки другого электроскопа останутся неподвижными, листочки же перваго разойдутся какъ только ему будетъ сообщенъ зарядъ; слѣдовательно *шелкъ не проводитъ электричества.*

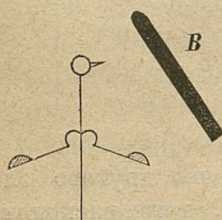
5 опытъ. Различныя степени проводимости тѣлъ можно обнаружить и при помощи одного электроскопа. Для этой цѣли прикрѣпляемъ одинъ конецъ испытуемой нити *A* (фиг. 8) или

проволоки къ шарику электроскопа, а другой ея конецъ беремъ въ лѣвую руку, правою же рукою заряжаемъ электроскопъ наэлектризованною каучуковою палкою *В*. Въ случаѣ, если испытуемая нить *А* проводитъ электричество, листочки электроскопа не расходятся, такъ какъ электричество тотчасъ же уходитъ въ землю по проводнику *А* и нашему тѣлу. Если же испытуемое тѣло не проводитъ электричества, то листочки послѣ заряженія электроскопа остаются разошедшимися. Наконецъ, если испытуемое тѣло полупроводитъ, какъ напр. льняная нитка, веревка или сухое дерево, то листочки послѣ заряженія электроскопа, хотя и падаютъ, но не вдругъ, а постепенно.

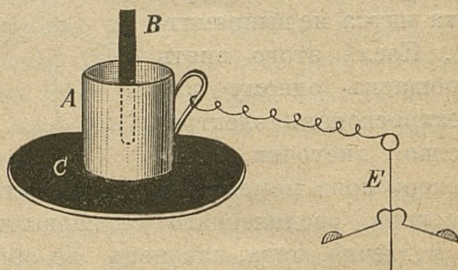


фиг. 8.

6 опытъ. Отвинчиваемъ у одного изъ электроскоповъ крючекъ и вмѣсто него завинчиваемъ остріе. Затѣмъ, въ разстояніи одного или двухъ центиметровъ отъ острія проводимъ наэлектризованную каучуковую палку, послѣ чего электроскопъ оказывается заряженнымъ электричествомъ того же рода, что и на палкѣ. Это явленіе объясняется индукціею. Подобное явленіе



фиг. 9.



фиг. 10.

происходитъ въ электрической машинѣ съ подушками; въ такой машинѣ на вращающемся стеклянномъ или каучуковомъ кругѣ отъ тренія его о подушки образуется электричество, которое, проносясь мимо остріевъ гребенки, электризуетъ чрезъ вліяніе кондукторъ машины.

7 опытъ. Если поднести къ шарику электроскопа зажженную спичку, то листочки электроскопа быстро падаютъ.

8 опытъ. Беремъ жестяную кружку *А* (фиг. 10) и, высушивъ ее, ставимъ на эбонитовую пластинку *С*. Кружку при помощи проволоки соединяютъ съ электроскопомъ *Е*. Если въ

кружку опустить наэлектризованное тѣло, напр. натертую сукномъ каучуковую палку *B*, то листочки электроскопа разойдутся, при чемъ электричество, обнаруживающееся въ листочкахъ электроскопа, оказывается того же знака, что и на тѣлѣ *B*. Прикоснувшись пальцемъ къ электроскопу, мы удаляемъ электричество изъ электроскопа (листочки сойдутся). Но лишь только мы удалимъ тѣло *B*, какъ листочки тотчасъ же опять разойдутся, и электричество на нихъ окажется теперь противоположнымъ тому, какое было на нихъ раньше. Такимъ образомъ нашъ простой приборъ съ успѣхомъ можетъ служить для наблюденія электризованія чрезъ вліяніе.

Пасхальное засѣданіе 1901 г. Французскаго физическаго общества.

Э. Ротэ [1]).

II. Лекціи [2]).

1. Лекція Д. Корда о телавтографѣ Грея-Ритчи [3]).

Приборъ, бывшій предметомъ лекцій Корда, есть телеграфъ въ строгомъ смыслѣ этого слова. Еще Казелли имѣлъ мысль передавать на разстояніе письмо при помощи замыканій и прерываній тока, производимыхъ остріемъ, которое перемѣщается по бумагѣ, приготовленной особымъ химическимъ способомъ и отчасти проводящей. Приборъ Казелли не имѣлъ практическаго успѣха.

Недавно умершій американскій ученый Элиша Грей, изобрѣтатель микрофона, долго работалъ надъ тою же задачею; подъ конецъ ему удалось устроить снарядъ, который онъ назвалъ телавтографомъ; но онъ былъ слишкомъ сложенъ и требовалъ четырехъ проволокъ для соединенія двухъ станцій. Макферсону, одному изъ учениковъ Грея, удалось уменьшить до двухъ число

---

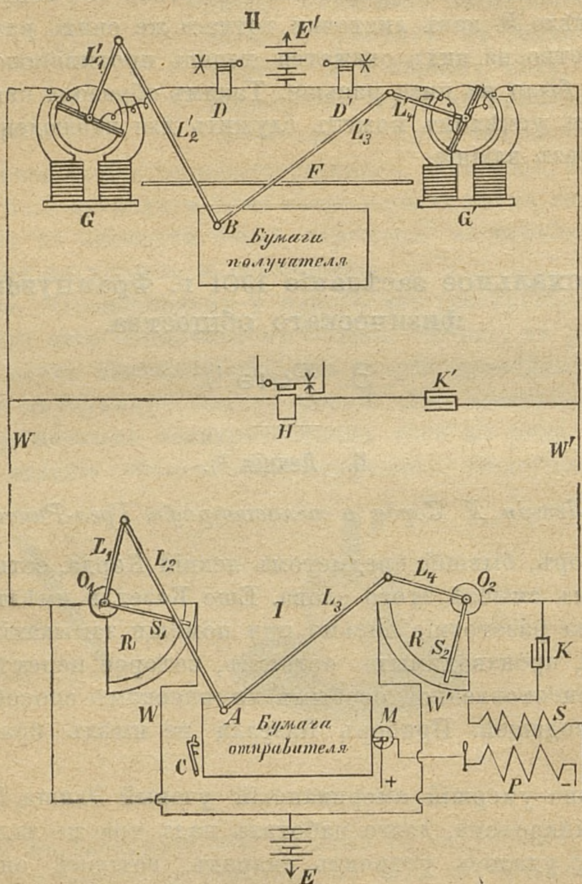
[1]) Продолженіе; см. стр. 245.

[2]) Изъ шести прочитанныхъ лекцій мы приводимъ только двѣ наиболѣе интересныя.

[3]) Conférence de *M. D. Korda* sur le télautaugraphe Gray-Ritchie.

соединительныхъ проволокъ; наконецъ Ритчи, другой ученикъ Грея, вполнѣ разрѣшилъ задачу: въ его приборѣ нѣтъ ни часового механизма, ни другихъ сложныхъ приборовъ; для соединеній станцій требуется только двѣ проволоки.

Приборъ Ритчи состоитъ изъ двухъ частей, изъ коихъ одна



фиг. 1.

находится на станціи отправленія, а другая на станціи пріема. На станціи отправленія карандашъ A укрѣпленъ на серединѣ четырехъ сочлененныхъ рычаговъ L_1, L_2, L_3 и L_4, изъ которыхъ крайніе соединены неизмѣнно съ ручками S_1 и S_2; рычаги наши вращаются около неподвижныхъ осей O_1 и O_2. Когда перемѣ-

щается карандашъ A, то вмѣстѣ съ тѣмъ повертываются ручки S_1 и S_2, снабженныя щетками, которыя скользятъ по контактамъ реостатовъ R, R. Концы этихъ реостатовъ соединены съ отведенными къ землѣ батареями E и E'; оси O_1 и O_2 соединены линіями W и W' со станціею пріема. На послѣдней имѣются два гальванометра Депре-д'Арсонваля, G и G'; одни концы рамокъ этихъ гальванометровъ соединены съ линіями W и W', другіе съ батареею E'; самыя рамки соединены между собою системою рычаговъ L'_1, L'_2, L'_3 и L'_4 (совершенно подобною системѣ L_1, L_2, L_3 и L_4), въ серединѣ которыхъ находится перо B.

Каждому положенію карандаша A соотвѣтствуетъ опредѣленное положеніе ручекъ S_1 и S_2, а слѣд. и опредѣленные токи въ $EWGE'$ и въ $EW'G'E'$, которые обусловливаютъ опредѣленныя положенія рамокъ въ гальванометрахъ G и G'. Сопротивленія линій W и W' разсчитаны такъ, чтобы эти рамки поворачивались всегда на углы соотвѣтственно равные угламъ, на которые повертываются ручки S_1 и S_2; такимъ образомъ перо B на станціи пріема совершаетъ движенія тождественныя съ движеніемъ карандаша A на станціи отправленія; рисунокъ, дѣлаемый карандашомъ A, въ точности повторяется перомъ B.

Вотъ сущность описываемаго прибора; но въ немъ много очень остроумныхъ мелочей, изъ коихъ укажемъ только на одну. Понятно, что перо B должно писать на своей бумагѣ только тогда, когда отправитель пишетъ, а не дѣлаетъ своимъ перомъ

Written on the Telauto-graph, May. 2nd 1901.

фиг. 2.

какихъ-нибудь движеній въ воздухѣ (напр. перенося его съ конца одной строки къ началу другой). Для этого на станціи пріема бумага лежитъ на упругой доскѣ; когда отправитель пишетъ и надавливаетъ карандашомъ A бумагу, доска подъ нимъ прогибается и замыкаетъ въ M примарную цѣпь P маленькаго индуктора; перемѣнные токи, наводимые при этомъ въ секундарной обмоткѣ S этого индуктора, проходятъ чрезъ конденсаторъ K, линію W' и на станціи пріема—чрезъ второй конденсаторъ

K' и релэ *H*; здѣсь замыкается токъ, который—при помощи электромагнита – опускаетъ стержень *F*, прижимающій перо *B* къ его бумагѣ; когда отправитель перестаетъ писать, токъ въ *P* размыкается, стержень *F* поднимается и перо *B* отрывается отъ бумаги.

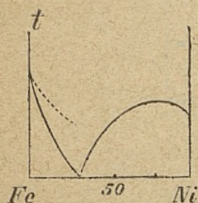
На лекціи приборъ былъ приведенъ въ дѣйствіе: каждый изъ присутствующихъ писалъ свое имя на одномъ приборѣ и получалъ изъ другого прибора точную копію своей подписи.

На фиг. 2 представлено fac-simile депеши, воспроизведенной телавтографомъ.

2. *Лекція Ш. Гильома о никкелистой стали* [1]).

Вопросъ о никкелистой стали или сплавахъ желѣза съ никкелемъ, хотя и недавній, но получилъ уже широкое развитіе. Механическія свойства этихъ металловъ со всѣми ихъ неправильностями были предметомъ тщательныхъ изслѣдованій, обогатившихъ наши свѣдѣнія о сплавахъ. Эти сплавы были изучены Гопкинсономъ, Г. и А. Ле-Шателье, Осмондомъ, Дюмономъ, Л. Дюма и др.; но работы самого Гильома, конечно, болѣе всего способствовали какъ изученію свойствъ этихъ сплавовъ, такъ и практическимъ примѣненіямъ ихъ. Несмотря на всю сложность вопроса, въ немъ можно, хотя отчасти, разобраться.

Лекторъ начинаетъ съ изученія свойствъ никкелистой стали въ зависимости отъ температуры. Всѣ эти сплавы можно раздѣлить на двѣ категоріи: на сплавы *обращаемыя* и на сплавы *необращаемыя*. Начертимъ кривую, причемъ на абсциссахъ будемъ откладывать содержаніе никкеля, начиная чистымъ желѣзомъ и кончая чистымъ никкелемъ, а на ординатахъ температуры, при которыхъ сплавы теряютъ свой магнитизмъ. Получаемая кривая состоитъ изъ двухъ вѣтвей, изъ коихъ одна быстро опускается и пересѣкаетъ ось абсциссъ въ точкѣ, соотвѣтствующей приблизительно 25%, а другая представляетъ maximum. Всѣ сплавы между 0 и 25% принадлежатъ къ классу необращаемыхъ; остальные обращаемы. Вотъ что подъ этимъ разумѣютъ: если нагрѣвать сплавы первой категоріи, они теряютъ свой магнитизмъ при опредѣленной темпе-



фиг. 3.

[1]) Conférence de M *Ch.-Ed. Guillaume* sur les aciers au nickel.

ратурѣ; если же ихъ охлаждать, то они, проходя чрезъ ту же температуру, вновь не намагничиваются. Наоборотъ всѣ сплавы съ содержаніемъ никкеля болѣе 25% пріобрѣтаютъ вновь магнитныя свойства, когда, охлаждаясь, достигаютъ той температуры при которой, нагрѣваясь, потеряли свой магнитизмъ. Можно сказать, что сплавы первой категоріи вдвойнѣ необращаемы, ибо если послѣ охлажденія ихъ вновь нагрѣть, то они теряютъ свой магнитизмъ лишь при температурѣ опредѣляемыхъ пунктирною кривою, т. е. при болѣе высокихъ температурахъ, чѣмъ прежде.

Термическое расширеніе никкелистыхъ сталей тоже очень различно, смотря по содержанію желѣза и никкеля; нѣкоторыя изъ нихъ почти вовсе *не расширяются.* Гильомъ обнаруживаетъ это при помощи очень простого пирометра. Испытуемый стержень укрѣпляется неподвижно однимъ концомъ, а другимъ кладется на иголку, положенную на гладкую доску (иголка д. б. расположена перпендикульрно къ стержню); къ иголкѣ прикрѣплена соломинка; если стержень удлиняется, онъ катитъ иголку и соломинка перемѣщается передъ раздѣленною линейкою; такимъ образомъ цѣлая аудиторія можетъ видѣть самыя незначительныя удлиненія стержня. Этотъ простой приборъ достоинъ вниманія преподавателей низшихъ и среднихъ школъ.

И по отношенію къ термическому расширенію никкеллистыя стали можно раздѣлить на двѣ категоріи. Необращаемыя сплавы обладаютъ расширеніями, заключенными между двумя предѣлами, различными смотря по степени трансформаціи и по числу совершаемыхъ операцій. Напротивъ того обращаемые сплавы обладаютъ расширеніемъ, измѣняющимся непрерывно съ содержаніемъ. Сплавы съ 25% содержаніемъ никкеля расширяются очень незначительно; вблизи 35% сплавы расширяются въ десять разъ меньше, чѣмъ платина.

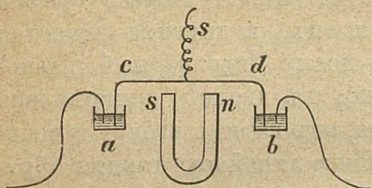
Упругія свойства сплавовъ тоже интересны. Гопкинсонъ и др. давно показали, что намагниченіе вліяетъ на упругость металловъ: такъ необращаемые сплавы желѣза и никкеля очень жестки, будучи намагничены, и упруги, когда ненамагничены. Этотъ фактъ можно сопоставить съ тѣмъ, который наблюдался Ле-Шателье: намагниченное желѣзо, имѣетъ гораздо большій термическій коэффиціентъ длины, чѣмъ ненамагниченное. Съ намагниченіемъ желѣза его модуль упругости значительно уменьшается.

Приведенные опыты, повидимому, доказываютъ, что измѣненія свойствъ никкелистой стали зависятъ отъ химическихъ

процессовъ, въ ней совершающихся. Можно думать, что каждой температурѣ соотвѣтствуетъ опредѣленное состояніе равновѣсія между желѣзомъ и никкелемъ сплава. Пока это равновѣсіе не достигнуто, свойства сплава измѣняются. Необращаемые сплавы первой категоріи находятся въ состояніи неустойчиваго равновѣсія; напротивъ того обращаемые сплавы при каждой данной температурѣ стремятся къ вполнѣ опредѣленному состоянію.

Никкелистая сталь можетъ имѣть многочисленныя практическія примѣненія, основанныя или на ея упругости, или на ея магнитныхъ свойствахъ, или на маломъ термическомъ расширеніи.

Гильомъ изобрѣлъ слѣдующій предохранительный прерыватель тока: въ чашечки *a* и *b* (фиг. 4) со ртутью, соединенныя съ цѣпью, погружаются концы согнутой въ видѣ буквы П проволоки *cd* изъ никкелистой стали; не нагрѣтая, она намагничиваетса магнитомъ *ns* и притягивается къ нему, несмотря на пружинку *s*, которая ее оттягиваетъ; такимъ образомъ цѣпь замыкается проволокою *cd*. Если этотъ токъ становится слишкомъ силенъ, проволока *cd* нагрѣвается и теряетъ свои магнитныя свойства; вслѣдствіе этого она—подъ дѣйствіемъ пружинки *s*—отдѣляется отъ магнита, и токъ прерывается. Такіе предохранители могутъ быть разсчитаны на очень слабые токи, до 0·5 и даже 0·3 amp.



фиг. 4.

Изъ никкелистой стали можно приготовить эталоны длины. Такъ какъ свойства сплава измѣняются съ теченіемъ времени, то изъ него нельзя, конечно, изготовлять прототиповъ; но для лабораторныхъ эталоновъ этотъ матеріалъ достаточно постояненъ; въ теченіе перваго года длина метровой линейки измѣняется приблизительно на 2μ.; далѣе измѣненія столь медленны, что ошибка никогда не можетъ быть больше 5 μ. Термическое удлиненіе такихъ линеекъ гораздо меньше, чѣмъ латунныхъ, и выгода употребленія ихъ въ геодезіи очевидна: чѣмъ менѣе измѣняется длина линейки, тѣмъ меньше ошибки отсчетовъ, дѣлаемыхъ при измѣреніи. Генералъ Бассо, начальникъ географической службы въ арміи, пожелалъ имѣть изъ никкелистой стали линейку въ четыре метра; Бенуа и Гильомъ тщательно изслѣдовали эту линейку; она вѣситъ 25 kgr., тогда какъ прежнія ли-

нейки были тяжелѣе 75 klg. Подобными линейками будутъ пользоваться при новомъ измѣреніи базъ на Шпицбергенѣ, на Мысѣ Доброй Надежды и въ Боливіи.

До сихъ поръ въ уравнительныхъ маятникахъ компенсація достигалась или системою стержней двухъ различныхъ металловъ или при помощи ртути (система Фуко); теперь изъ никкелистой стали можно сдѣлать *неудлиняющійся* маятникъ. Въ хорошихъ хронометрахъ имѣется компенсированная спираль, которую теперь дѣлаютъ тоже изъ никкелистой стали.

Послѣднее примѣненіе никкелистой стали заключается въ замѣнѣ проволоками изъ этого сплава тѣхъ платиновыхъ проволокъ, которыя впаиваются въ калильныя лампочки; эти сплавы расширяются почти также, какъ стекло, и проволоки изъ никкелистой стали очень легко впаиваются въ стекло. Уже два года, какъ Парижское Общество электрическаго освѣщенія изготовляетъ калильныя лампочки безъ платины. Хотя никкелистая сталь не дорога, однако нельзя сказать, чтобы въ данномъ случаѣ пониженіе цѣны играло большую роль, ибо тутъ употребляютъ платиновыя проволоки, которыя не толще волоса, и изъ одного килограмма платины изготовляютъ 300000 лампочекъ. Но дѣло въ томъ, что фабрикація лампочекъ поглощаетъ около трети всей добываемой платины. Извѣстно, какъ нужна платина химикамъ, и можно опасаться, что настанетъ скоро время, когда добываніе платины совершенно прекратится. Эту эпоху можно нѣсколько отодвинуть, замѣняя платину въ калильныхъ лампочкахъ никкелистою сталью и оставляя этотъ рѣдкій и драгоцѣнный металлъ для изготовленія проволокъ, пластинокъ и посуды, нужныхъ для лабораторій. Это будетъ важная услуга, которую никкелистая сталь окажетъ наукѣ.

Парижъ, Апрѣль 1901.

Практическая физика въ средней школѣ

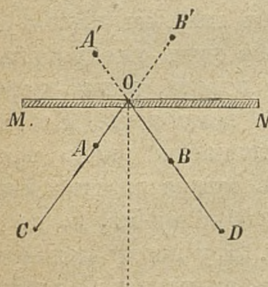
Ф. И. Ростовцева [1]).

VII. Задачи по свѣту.

46) *Сравнить яркости двухъ источниковъ свѣта при помощи тѣневаго фотометра.*

Приборы. Бѣлый экранъ, непрозрачный вертикальный стержень, два источника свѣта и измѣрительная лента.

Опытъ. Ставятъ предъ экраномъ вертикальный стержень, а за стержнемъ два сравниваемыхъ источника 1 и 2. Опытъ производится въ темной комнатѣ. Перемѣщая одинъ источникъ относительно экрана, добиваются того, чтобы обѣ тѣни стержня были одинаковой интенсивности. Измѣряютъ разстоянія (r_1 и r_2) перваго источника отъ тѣни, даваемой вторымъ источникомъ, и второго источника отъ тѣни, даваемой первымъ источникомъ.



фиг. 23.

Пусть I_1 и I_2 суть яркости источниковъ (т. е. яркости, съ которыми они освѣщаютъ въ разстояніи 1 cm.). Тогда одна изъ нашихъ тѣней освѣщается первымъ источникомъ съ яркостью $I_1/r_1{}^2$, а другая— вторымъ источникомъ съ яркостью $I_2/r_2{}^2$; такъ какъ обѣ тѣни освѣщены одинаково ярко, то $I_1/r_1{}^2 = I_2/r_2{}^2$, откуда

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2{}^2}{r_1{}^2}.$$

Слѣд., зная яркость одного источника, можно опредѣлить яркость другого.

За единицу яркости источника принимаютъ яркость такъ называемой „нормальной свѣчи"; за таковую безъ большой погрѣшности можно принять стеариновую четвериковую свѣчу.

---

[1]) Окончаніе; см. стр. 268.

47) *Провѣрить законы отраженія свѣта.*

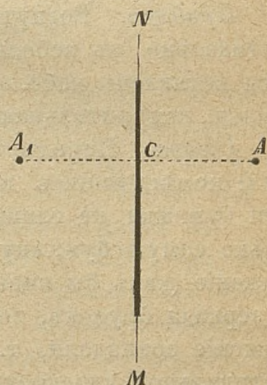
Приборы. Листъ бумаги, плоское зеркало, карандашъ, линейка, транспортиръ, четыре большихъ булавки.

Опытъ. Укрѣпивъ на столѣ листъ бумаги, проводятъ на немъ прямыя *MN* и *OC* (фиг. 23). Вдоль линіи *MN* ставятъ вертикальное зеркало. Передъ зеркаломъ, въ разстояніи около 5 cm. отъ него, втыкаютъ въ столъ на линію *OC* двѣ вертикальныя булавки *A* и *C*; третью булавку *B* втыкаютъ такъ, чтобы она покрыла собою изображеніе *A'* булавки *A*, и, наконецъ, четвертую *D*—такъ, чтобы она покрыла *B* и изображеніе *A'* булавки *A*. Булавки *C* и *D* должны быть въ разстояніяхъ не меньшихъ 10 cm. отъ *A* и *B*. Удаливъ зеркало и булавки, проводятъ прямую *DB* и измѣряютъ транспортиромъ углы *COM* и *DON*. Это дополненія до $\pi/2$ къ угламъ паденія и отраженія. Измѣняя положенія булавокъ *A* и *C*, повторяютъ опытъ. Если по *CO* направимъ падающій лучъ, то отраженный лучъ направится по *OD*.

48) *Опредѣлить положеніе изображенія въ плоскомъ зеркалѣ.*

Приборы. Стеклянная пластинка, двѣ большихъ булавки, линейка, карандашъ, транспортиръ, измѣрительная лента и листъ бумаги.

Опытъ. Укрѣпивъ листъ бумаги на столѣ, проводятъ на ней прямую *MN* (фиг. 24), вдоль которой ставятъ вертикально стеклянную пластинку. Втыкаютъ передъ пластинкою булавку *A* и, помѣстивъ глазъ съ той же стороны пластинки, сзади нея втыкаютъ вторую булавку A_1 такъ, чтобы она совпала съ изображеніемъ первой булавки. Удаливъ зеркало и булавки, проводятъ прямую AA_1 и измѣряютъ отрѣзки *AC* и A_1C, а также углы *ACN* и A_1CN.



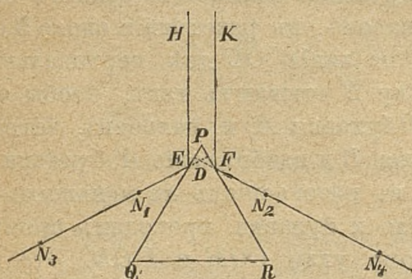
фиг. 24.

49) *Измѣрить уголъ стеклянной призмы.*

Приборы. Призма, прямоугольный треугольникъ, линейка, листъ бумаги, карандашъ, нѣсколько большихъ булавокъ, транспортиръ.

Опытъ. На укрѣпленномъ на столѣ листѣ бумаги проводятъ при помощи треугольника и линейки двѣ параллельныя прямыя *HE* и *KF* (фиг. 25) въ разстояніи 2 cm. другъ отъ друга. Между этими линіями помѣщаютъ вершину измѣряемаго угла *QPR*

призмы (ребро P перпендикулярно къ листу бумаги). Если бы HE и KF были свѣтовые лучи, то они отразились бы по N_1N_3 и N_2N_4. Отыскиваютъ направленіе этихъ отраженныхъ лучей, втыкая вертикальныя булавки N_1 и N_3 такъ, чтобы онѣ покрывали изображенія въ PQ двухъ булавокъ, которыя предварительно были воткнуты на линіи HE, и булавки N_2 и N_3, покрывающія изображенія въ PR булавокъ, воткнутыхъ на линіи FK. Удаливъ призму и булавки и проведя линіи N_1N_3 и N_2N_4, измѣряютъ транспортиромъ уголъ N_3DN_4, равный удвоенному углу QPR призмы. Въ самомъ дѣлѣ, $<EDF= =<DEP+<EPF+<PFD=<PEH+<EPF+<PFK=2.<EPF$.



фиг. 25.

50) *Опредѣлить фокусное разстояніе вогнутаго зеркала.*

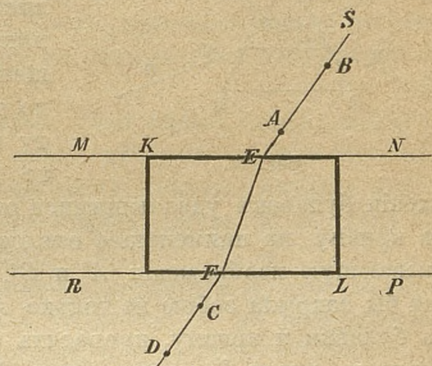
Приборы. Вогнутое сферическое зеркало; игла, воткнутая вертикально въ небольшой деревянный брусокъ; въ ушко же иглы вставленъ небольшой треугольный кусокъ твердой бѣлой бумаги; измѣрительная лента.

Опытъ. Передъ зеркаломъ ставятъ бумажный треугольникъ; помѣстившись нѣсколько дальше, смотрятъ въ зеркало; если бумажка не слишкомъ близка къ зеркалу, то увидимъ не только самую бумажку, но и ея дѣйствительное обратное изображеніе (какъ бы висящее въ воздухѣ). Перемѣщая относительно зеркала брусокъ, добиваются того, чтобы бумажка и ея изображеніе совпадали, т. е. чтобы были расположены въ одной вертикальной плоскости и вершинами соприкасались. Объ этомъ совпаденіи узнаютъ потому, что тогда при перемѣщеніи глаза вправо или влѣво бумажка не расходится съ своимъ изображеніемъ; если же такого совпаденія нѣтъ, то при перемѣщеніи глаза вправо изображеніе болѣе близкое, чѣмъ предметъ, сдвигается влѣво, а болѣе удаленное—вправо. Но предметъ и его изображенія могутъ совпадать только въ центрѣ зеркала; и потому, измѣривъ разстояніе зеркала отъ предмета совпадающаго съ своимъ изображеніемъ, получимъ радіусъ кривизны зеркала.

50) ***Провѣрить законы преломленія свѣта въ однородныхъ средахъ.***

Приборы. Стеклянный прямоугольный параллелепипедъ (или такой же формы стеклянный сосудъ съ водою), листъ бумаги, карандашъ, нѣсколько большихъ булавокъ, транспортиръ и линейка.

Опытъ. Укрѣпивъ на столѣ листъ бумаги, ставятъ на него параллелепипедъ P (фиг. 26). Проводятъ на бумагѣ линію MN и RS, идущія вдоль противоположныхъ граней параллелепипеда; проводятъ прямую SE и въ какихъ-нибудь точкахъ ея втыкаютъ двѣ вертикальныя булавки A и B; затѣмъ смотря на эти булавки съ противоположной стороны параллелепипеда, втыкаютъ еще двѣ булавки C и D такъ, чтобы и та и другая закрывали собою булавки A и B, видимыя чрезъ стеклянный параллелепипедъ. Если бы AB былъ падающій лучъ, то CD былъ бы лучъ, выходящій изъ параллелепипеда, а слѣд. внутри послѣдняго лучъ шелъ бы по EF. Точки E и F и получаютъ, какъ пересѣченія линіи AB съ MN и CD съ RS. Удаливъ параллелепипедъ, проводятъ линіи AB, CD и EF. Измѣряютъ транспортиромъ углы AEN и MEF; они служатъ дополненіями до $\pi/2$ къ угламъ паденія и преломленія. Отсюда вычисляютъ отношеніе синусовъ угловъ паденія и преломленія. Измѣняя направленіе AB, повторяютъ опытъ и находятъ постоянство указаннаго отношенія, которое и будетъ показателемъ преломленія вещества, изъ котораго сдѣланъ параллелепипедъ.



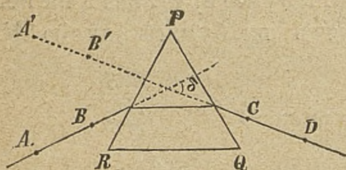
фиг. 26.

51) *Опредѣлить показатель преломленія стекла.*

Приборы. Стеклянная призма, кусокъ красной желатины, листъ бумаги, карандашъ, линейка, четыре большихъ булавки и транспортиръ.

Опытъ. На укрѣпленномъ къ столу листѣ бумаги проведемъ прямую и воткнемъ на ней двѣ вертикальныя булавки A и B (фиг. 27). Затѣмъ поставимъ на бумагу призму RPQ, на одну сторону которой, RP или PQ, наклеена красная желатина, и станемъ смотрѣть чрезъ нее на наши булавки, помѣщая глазъ такъ,

чтобы одна изъ нихъ закрывала собою другую; булавки покажутся намъ отклоненными къ вершинѣ призмы, въ A' и B'. Если призму немного повернуть, то отклоненіе булавокъ увеличится или уменьшится; рядомъ послѣдовательныхъ передвиженій призмы можно добиться того, чтобы изображенія булавокъ отклонялись возможно меньше отъ самихъ булавокъ. Соотвѣтствующее положеніе призмы узнается по тому, что, повертывая ее въ ту или другую сторону изъ этого положенія, мы видимъ изображенія булавокъ удаляющимися отъ основанія призмы. Поставивъ призму на наименьшее отклоненіе, втыкаютъ булавку C, закрывающую изображенія A' и B'; затѣмъ еще булавку D, которая бы закрыла собою не только A' и B', но также и C. Удаливъ булавки и призму, проводятъ прямыя AB и CD, наконецъ измѣряютъ уголъ δ между ними. Если знаемъ преломляющій уголъ P призмы (см. зад. 51), то показатель преломленія стекла для красныхъ лучей, пропускаемыхъ желатиною, опредѣляется по формулѣ



фиг. 27.

$$n = \frac{\sin[(P+\delta)/2]}{\sin(P/2)}$$

52) *Опредѣлить фокусное разстояніе собирающей линзы.*

Приборы. Бѣлый экранъ, діафрагма съ нитянымъ крестомъ, лампа, собирающее стекло, измѣрительная лента.

Опытъ. Напротивъ экрана, въ нѣкоторомъ разстояніи отъ него, ставятъ діафрагму, которую сзади освѣщаютъ лампою. Между экраномъ и діафрагмою ставятъ стекло и перемѣщаютъ его, пока на экранѣ не получится рѣзкое изображеніе діафрагмы съ нитянымъ крестомъ. Измѣряютъ тогда разстояніе d и d_1 экрана и діафрагмы отъ стекла. Фокусное разстояніе послѣдняго, F, вычисляется по формулѣ

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F}$$

54. *Спектръ.*

На одинъ конецъ деревянной дощечки (25—50 cm. длины и 2·5 cm. ширины) укрѣпляютъ пробку вышиною въ 5 cm. и на нее

прилѣпляютъ (кусочкомъ воска) стеклянную призму; на другомъ концѣ дощечки ставятъ восковую свѣчку такой высоты, чтобы вершина черной части ея пламени приходилась на одномъ уровнѣ съ верхнимъ краемъ пробки. Смотря на призму нѣсколько сбоку, увидимъ *спектръ* пламени, т. е. ея изображеніе, растянутое въ горизонтальномъ направленіи и окрашенное въ цвѣта радуги. Лучше однако разсматривать чрезъ призму не самое пламя, а освѣщенную имъ иголку, воткнутую вертикально въ доску на мѣсто свѣчи; при этомъ призма должна быть загорожена отъ свѣчи.

Изъ этого опыта заключаемъ, что бѣлый свѣтъ свѣчи состоитъ изъ множества лучей всѣхъ цвѣтовъ (перечислить главнѣйшіе цвѣта), и что лучи различныхъ цвѣтовъ имѣютъ различные показали преломленія (перечислить цвѣта въ порядкѣ возрастающей преломляемости ихъ).

Если между свѣчею и призмою поставить цвѣтное прозрачное тѣло (желатину, стекло или жидкость) то на непрерывномъ спектрѣ увидимъ одну или нѣсколько темныхъ поперечныхъ полосъ, называемыхъ полосами поглощенія; слѣд. цвѣтное прозрачное тѣло не пропускаетъ (или поглощаетъ) лучи нѣкоторыхъ цвѣтовъ.

Безцвѣтное пламя спиртовой горѣлки не даетъ свѣтящихъ лучей и потому не даетъ спектра; но если въ это пламя внести соль—поваренную или иную, то оно окрашивается и начинаетъ испускать свѣтящіе лучи; эти лучи, пройдя чрезъ призму, даютъ линейный спектръ, состоящій изъ одной или нѣсколькихъ отдѣльныхъ свѣтлыхъ полосокъ на соотвѣтственныхъ мѣстахъ. Слѣд. раскаленные пары металла (получаемаго изъ соли, внесенной въ пламя) даютъ лучи отдѣльныхъ цвѣтовъ. Такъ пламя, подкрашенное поваренною солью, даетъ спектръ, состоящій изъ одной желтой полоски.

Физическій кабинетъ.

12. *Третій законъ Ньютона.* Штативъ съ закрѣпленнымъ въ немъ вертикальнымъ магнитомъ ставятъ на чашку робервалевскихъ вѣсовъ, которые затѣмъ уравновѣшиваютъ. Если взять въ руку другой магнитъ и, держа его вертикально расположить надъ первымъ, то равновѣсіе нарушится (если сближены одноименные концы, въ магнитъ, поставленный на вѣсы, дѣлается какъ бы тяжеле) и притомъ тѣмъ больше, чѣмъ ближе концы магнитовъ.

Теперь въ штативъ закрѣпимъ оба магнита, располагая ихъ вертикально одинъ надъ другимъ; этотъ штативъ поставимъ опять на вѣсы и уравновѣсимъ ихъ; при измѣненіи разстояніе между магнитами (перемѣщеніемъ одного изъ нихъ вдоль штатива) равновѣсіе вѣсовъ не нарушается.

Въ первомъ опытѣ вѣсы обнаруживаютъ дѣйствіе верхняго магнита на нижній, во второмъ—имѣетъ мѣсто взаимодѣйствіе магнитовъ, состоящее изъ дѣйствія верхняго магнита на нижній и равнаго противодѣйствія нижняго на верхній.

(С.-Пб., *В. Л. Розенбергъ*).

13. *Спектръ раскаленныхъ газовъ* удобно показывать при помощи вольтовой дуги между углями, пропитанными различными солями. Такіе угли (Impregnierte Kohle) продаются у Max Kohl (Chemnitz i. S.) по цѣнѣ 2 марки за пару.

14. *Разрѣжающій насосъ.* Въ послѣднее время въ Англіи стали строить новые разрѣжающіе насосы „Gueryk“ съ масленымъ затворомъ (Oelverdichtung); маленькіе и легко переносные, эти насосы дѣйствуютъ несравненно лучше большихъ насосовъ старой конструкціи. Такъ небольшая гейслеровская трубка отъ 3 — 5 ударовъ поршня разрѣжается настолько, что начинаетъ свѣтиться; бычачій пузырь продавливается отъ одного удара поршня; для опыта съ небольшими магдебургскими полушаріями достаточно 3—5 ударовъ поршня.

Передъ началомъ употребленія насоса въ его цилиндръ надо налить минеральнаго масла.

И по цѣнѣ же насосы доступнѣе другихъ. У Max Kohl они продаютъ отъ 100 до 240 марокъ.

Конецъ 2-го тома.